



Trabajo de Fin de Grado en Economía

Mayo de 2020 – Curso 2019-2020

**EL IMPACTO DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN
LA PRODUCCIÓN Y EN EL MERCADO GLOBAL DE
AUTOMÓVILES**

Arturo Pérez Ledesma

Tutelado por Juan Ignacio Sánchez Gutiérrez

AGRADECIMIENTOS

Antes de comenzar con el desarrollo de la investigación, quisiera agradecer a varias personas su apoyo, sin el cual la realización de este trabajo no hubiera sido posible.

En primer lugar está mi tutor, Juan Ignacio. Su ayuda y atención han sido decisivas a lo largo de estos meses y, pese a que las condiciones de trabajo no hayan sido las habituales, siempre ha estado cuando le he necesitado. También ha conseguido transmitirme una gran pasión por la investigación y la universidad, lo cual me ha abierto la puerta a plantearme otras sendas en mi carrera profesional. Gracias.

Les doy, con mucho cariño, las gracias a mis padres, porque son ellos los que durante muchos años me han guiado hasta aquí, el último estadio de mi carrera universitaria. En especial a mi madre, cuyos ingresos me han brindado la oportunidad de estudiar en esta universidad.

Por último, pero no menos importante, agradezco a mis amigos Jorge y Tania haber leído la investigación en varias ocasiones, dándome su opinión, aportándome otros enfoques y ayudándome con las erratas.

Un fuerte abrazo a todos.

RESUMEN

El sector del automóvil se encuentra en una etapa de profunda transformación que se prolongará a lo largo de la década actual. Las fuerzas de cambio estarán lideradas por la aparición de trenes de potencia alternativos, los nuevos servicios de movilidad y el uso intensivo de tecnología.

En la carrera por lanzar modelos más respetuosos con el medioambiente, la opción del vehículo eléctrico es la que más popularidad ha ganado en los últimos años, si bien las variantes híbridas parecen las más adecuadas en el corto y medio plazo. Más allá del precio de compra, la mejora de la infraestructura de recarga y la autonomía son factores que también preocupan a los potenciales clientes.

La batería y el tren de potencia son los componentes que aportan mayor valor añadido y que más elevan el coste de fabricar estos vehículos. Es por ello que productores y proveedores se esfuerzan en encontrar fórmulas para hacerlos más asequibles y ganar ventaja competitiva respecto a otras marcas. A medida que la tecnología de estos componentes vaya madurando y se empleen formas de producción más eficientes, los vehículos eléctricos pasarán a ser una elección más lógica y atractiva para el grueso de los consumidores.

ABSTRACT

The automotive industry is currently undergoing a major transformation that will continue for the next decade. These changes will be led by the emergence of alternative powertrains, new mobility services, and the intensive use of technology.

In the race for developing new environmentally-friendly models, the electric vehicle has settled as the most popular option in recent years, even though hybrid variants seem to be more suitable for the short and medium-term. Besides the purchase price, the improvement of charging infrastructures and autonomy are key factors that concern potential clients.

Battery and powertrain are the components that most rise the value-added and cost of producing such vehicles. Consequently, producers and providers strive for finding ways of making them more low-priced and win that competitive edge over other companies. As technologies related to these components start to settle and more efficient ways of production are achieved, electric vehicles will become an attractive and rational choice for most consumers.

PALABRAS CLAVE

Industria de automoción, vehículo eléctrico, baterías, movilidad sostenible, cadena de valor.

KEYWORDS

Automotive industry, electric vehicle, batteries, sustainable mobility, value chain.

CÓDIGOS JEL

F23, L62, O31, R40, Q55.

ACRÓNIMOS

AVVE (Asociación Valenciana del Vehículo Eléctrico).

BEV (Battery Electric Vehicle).

BMS (Battery Management System).

CATL (Contemporary Amperex Technology).

EPA (Environmental Protection Agency).

EUROBAT (Association of European Manufacturers of automotive, industrial and energy storage batteries).

FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle).

FMC (Food Machinery Company).

gWh (gigavatio/hora).

HEV (Hybrid Electric Vehicle).

ICCT (International Council of Clean Transportation).

ICE (Internal Combustion Engine).

IEA (International Energy Agency).

kWh (kilovatio/hora).

LCO (Lithium Cobalt Oxide)

LFP (Lithium Ferrophosphate)

MHEV (Mild Hybrid electric Vehicle).

NMC (Nickel Manganese Cobalt)

PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle).

SQM (Sociedad Química Minera).

tWh (teravatio/hora).

WHO (World Health Organisation).

WLTP (World Harmonized Light-duty Vehicle Test Procedure)

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	8
2. EL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN TÉRMINOS DE MERCADO.....	10
2.1. Técnica y valor añadido	10
2.2. Análisis de mercado	13
2.3. Previsiones de crecimiento	16
2.4. La disputa del mercado	18
2.5. Las cinco fuerzas competitivas	20
3. LA PRODUCCIÓN DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO.....	23
3.1. Las baterías	23
3.1.1. Tipología, composición y funcionamiento	25
3.1.2. Extracción y refinado de las materias primas	28
3.1.3. Manufactura de los componentes.....	31
3.1.4. Producción de las células.....	32
3.1.5. Producción de las baterías.....	33
3.2. El motor eléctrico.....	36
3.2.1. Tipología, composición y funcionamiento.....	37
3.2.2. Producción de los motores.....	40
4. DISCUSIÓN.....	42
4.1 El liderazgo chino y la producción de autobuses eléctricos.....	42
4.2 El debate de las emisiones.....	44
4.3 La irrupción del SARS-CoV-2.....	47
4.4 Limitaciones de la investigación.....	48
5. CONCLUSIONES	50
6. BIBLIOGRAFÍA	52

1. INTRODUCCIÓN

Tras décadas de inacción e incluso negacionismo, la necesidad de reducir el impacto que generamos en el medioambiente es hoy día incuestionable. Nos encontramos en un punto de inflexión en el que las regulaciones están cada vez más presentes y son cada vez más restrictivas, afectando tanto a productores de bienes y servicios como a los consumidores de los mismos. Aparte de estos cambios impuestos por las instituciones, también existe una conciencia colectiva cada vez mayor que implica un aumento de la demanda de productos responsables con el medioambiente.

En este contexto de cambio y debate se encuentra también el ámbito del transporte, en especial el que realizamos por carretera, responsable del 72% de las emisiones totales de CO₂ relativas a las diferentes opciones de transporte según el Parlamento Europeo. De acuerdo con este organismo, solamente el transporte de automóviles genera el 60,7% de estas emisiones, quedando por delante de los vehículos pesados con un 26,2% y las furgonetas con un 11,9%. El origen del resto de emisiones corresponde en este caso a las motocicletas (Parlamento Europeo, 2019).

Esta no es la única externalidad negativa derivada del uso de motores de combustión en el transporte. Los automóviles emiten otros tipos de partículas resultantes de la combustión que, si bien no contribuyen al fenómeno del calentamiento global, sí que suponen una amenaza para la salud humana y la de otras especies, sobre todo cuando nos encontramos en grandes urbes con altos índices de tráfico rodado. Hablamos de sustancias como el NO_x, de cuya emisión son responsables los vehículos de combustión en un 39% (Tribunal de Cuentas Europeo, 2018). Estos efectos, dañinos para la salud de las personas, provocan muertes prematuras y enfermedades crónicas cuyo impacto para la economía global está calculado en un total de 1.431 millones de dólares anuales (WHO Regional Office for Europe, OECD, 2015).

Teniendo en cuenta esta doble problemática, queda patente la importancia de transitar hacia un modelo de movilidad más sostenible y entender cómo se está llevando a cabo desde diferentes perspectivas y a distintos niveles. Precisamente, en esta investigación, estudiaremos cómo los fabricantes de automóviles se están adaptando a esta tendencia y cómo está cambiando el mercado de la automoción con la inclusión de nuevas marcas y del producto que está llamado a subsanar buena parte estos problemas; el vehículo eléctrico.

En el sector del automóvil, esta transición va mucho más allá de la necesidad de emplear trenes de potencia alternativos que sean más respetuosos con el medioambiente. El cambio de paradigma se verá intensificado por la llegada de coches más asistidos e incluso completamente autónomos, además de la aparición de servicios de movilidad inéditos como el *carsharing*. La tecnología, sobre todo la orientada a

la conectividad y la comunicación, estará más integrada que nunca en nuestros vehículos. Esto proporcionará un extenso abanico de posibilidades no solo a nivel de entretenimiento a bordo, sino de seguridad y de comodidad. El desarrollo de todos estos avances se concentrará en esta misma década, lo que supondrá un enorme reto para los fabricantes, que deberán realizar cambios profundos en su estrategia para adaptarse (Burns, 2020).

El objetivo de este trabajo es doble. Por un lado, aportar una visión global de la situación del mercado de los vehículos electrificados (tanto híbridos enchufables como puramente eléctricos); qué regiones son líderes en ventas absolutas y cuota, cuáles son los mayores productores y el origen de su éxito o qué previsiones contemplamos para los próximos años. Por otra parte, proporcionar un análisis pormenorizado de la cadena de valor de las baterías y la unidad de potencia de los vehículos electrificados, así como del impacto que estos nuevos componentes están generando en la estrategia productiva de las marcas y en otros campos de la economía.

La presente investigación se ve respaldada por múltiples aptitudes adquiridas a lo largo de los cursos del grado de economía. Como competencias genéricas, destacan las capacidades de analizar y sintetizar información de fuentes diversas, así como de organizar y planificar la exposición de los resultados de la labor de investigación. Además, este trabajo cuenta con un claro afán de aprendizaje crítico a la vez que muestra sensibilidad por cuestiones medioambientales y sociales. En cuanto a competencias específicas, han sido necesarias, entre otras, identificar las fuentes de información económica relevantes y aportar racionalidad económica al análisis.

En nuestro camino hacia la conclusión final revisaremos una gran cantidad de fuentes bibliográficas que compararemos y relacionaremos. El origen de la información más destacada de esta investigación proviene de fuentes como la International Energy Agency, el International Council of Clean Transportation, la base de datos EV-Volumes y diversas instituciones europeas como el Tribunal de Cuentas, la Agencia Europea de Medio Ambiente o la Comisión Europea entre otras. También encontramos diversos artículos periodísticos de carácter técnico y económico que en su mayoría respaldan fenómenos puntuales.

2. EL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN TÉRMINOS DE MERCADO

Antes de profundizar en el análisis de la situación actual del mercado, es de vital importancia atender brevemente a las variaciones técnicas entre los vehículos de combustión interna, los puramente eléctricos y los híbridos. Aclarar estos conceptos también nos ayudará a comprender la oferta de productos existente y los cambios que se están generando a nivel productivo que estudiaremos en el siguiente bloque de la presente investigación.

2.1 Técnica y valor añadido

Cuando hablamos de vehículos con motor de combustión interna o ICE (*Internal Combustion Engine*), hacemos referencia de forma indistinta a vehículos impulsados por mecánicas diésel y gasolina que no cuentan con la ayuda de ningún otro tipo de propulsión (figura 2.2). También los conocemos comúnmente como *coches tradicionales*. En la otra cara de la moneda tenemos los coches 100% eléctricos o BEV (*Battery Electric Vehicle*), que carecen de algún otro sistema de apoyo a la propulsión más allá del sistema puramente eléctrico (figura 2.1). Los coches eléctricos cuentan con dos principales componentes que son generadores de la mayor parte del valor añadido del vehículo y que podemos observar en la figura 2.1; el sistema de propulsión y las baterías. En sucesivas referencias, entenderemos por sistema de propulsión el conjunto compuesto por el motor, el convertidor y el controlador de gestión electrónica.

Como veremos a lo largo del trabajo, la batería es un elemento crucial en este tipo de vehículos dado que condiciona estrictamente las prestaciones de potencia, autonomía y el precio final del coche. Para ilustrar de forma más clara la importancia de este componente, cabe añadir que este elemento puede llegar representar el 40% del valor total de un coche eléctrico (Wollenberg, 2017), hecho por el cual también se trata del campo en el que las marcas y fabricantes están invirtiendo mayor cantidad de recursos para innovar y generar una ventaja competitiva con la que ganar cuota de mercado respecto a la competencia. De hecho, un gigante del sector de la automoción como el Grupo Volkswagen, ha anunciado recientemente una inversión en el medio plazo de 50.000 millones de euros para el desarrollo y producción de baterías con el objetivo de asegurar el abastecimiento de 150 gigawatios/hora que estiman necesitarán para cubrir solamente la demanda europea (Sánchez, 2020).

En el plano técnico, el coche eléctrico resulta sencillo con respecto a un vehículo de combustión interna al requerir de aproximadamente 35 partes móviles en su tren de potencia frente a las 167 necesarias en un coche tradicional (UBS, 2019), en contrapartida, hace un uso tecnológico más intensivo en relación con la gestión electrónica del conjunto.

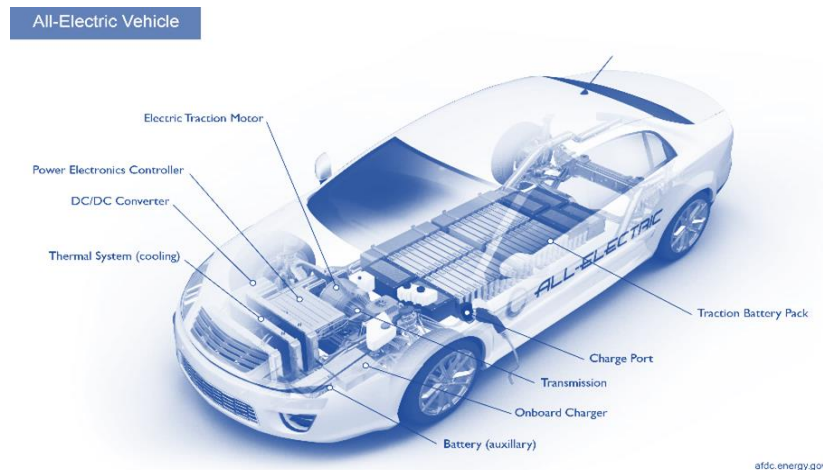


Figura 2.1: Componentes de un EV

Fuente: (U.S. Department of Energy, AFDC, 2019)

En este ámbito, la principal y más importante ventaja que hace superiores a los eléctricos, es su elevada eficiencia energética, la cual entendemos como el porcentaje de electricidad proveniente de la batería que la mecánica es capaz de transformar para finalmente desplazar el vehículo (hecho que medimos de igual forma en los vehículos tradicionales, pero éstos haciendo uso de combustible fósil): mientras que los motores de combustión llegan a alcanzar una eficiencia máxima del 35% en los propulsores más eficientes, generalmente mecánicas de origen diésel, los coches eléctricos son capaces de conseguir desde un 71% de eficiencia bajo las condiciones menos favorables hasta un 85% en el mejor escenario, lo que supone una diferencia tan significativa como para afirmar que los BEV son máquinas mucho más eficientes (JOHANSSON, 2015)

Esta evidencia está directamente relacionada con el menor número de partes móviles involucradas en la propulsión, que da como resultado una menor pérdida de energía por fricción. La ausencia de una caja de cambios con varias velocidades y el hecho de que los motores eléctricos tengan un rango de funcionamiento óptimo más amplio juega un papel decisivo para lograr estas cifras de eficiencia (JOHANSSON, 2015).

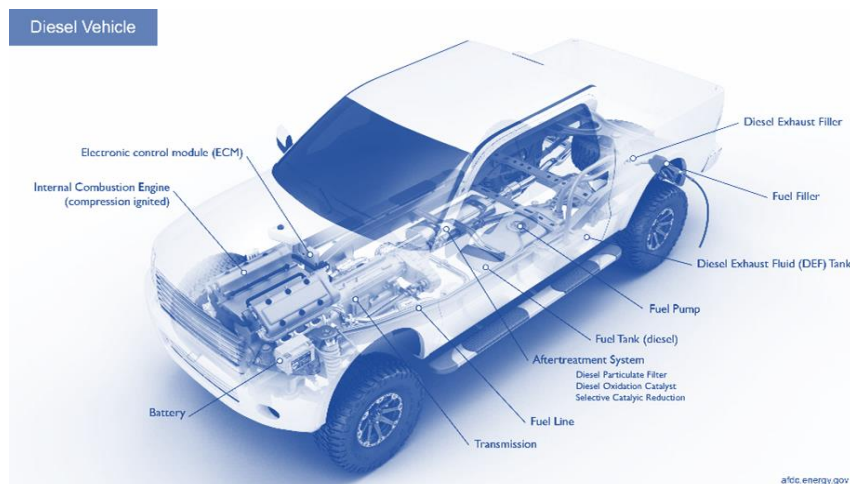


Figura 2.2: componentes de un ICE

Fuente: (U.S. Department of Energy, AFDC, 2019)

En el mercado también existen otros modelos que utilizan trenes de potencia alternativos con el objetivo de reducir su impacto en el medioambiente y que cada vez gozan de más popularidad entre los consumidores. Si bien no explicaremos en profundidad todas las propuestas, sí que prestaremos especial atención a los vehículos híbridos enchufables (Plug-in Hybrid Electric Vehicle o PHEV). En orden de mayor a menor autonomía eléctrica nos encontramos, en primer lugar, con la tecnología *mild-hybrid* (MHEV, Mild Hybrid Electric Vehicle) o también conocida como *hibridación suave*, compuesta por un sistema de 48 voltios integrado parcialmente en la caja de cambios convencional que permite reducir levemente el consumo de combustible y en consecuencia las emisiones contaminantes. No cuenta con la capacidad de impulsar el coche en modo 100% eléctrico (ZF, 2017).

Por otro lado, nos encontramos con los híbridos convencionales o HEV (Hybrid Electric Vehicles); coches que cuentan con un motor de combustión, normalmente de gasolina, apoyado por un compacto tren de potencia eléctrico que apenas permite tener uno o dos kilómetros de autonomía puramente eléctrica. No pueden recargar su batería con una toma de corriente externa, sino que aprovechan la inercia de la marcha y la energía de las frenadas para ello.

La tercera opción más popular es la de los híbridos enchufables (figura 2.3), que tienen un valor en el mercado sustancialmente superior al de los híbridos convencionales, pero un coste menor con respecto a los eléctricos puros. Cuentan con una autonomía en modo eléctrico que en la mayoría de los casos se acerca o sobrepasa los 50km, gracias a un motor eléctrico más sofisticado y una batería de capacidad superior. Esta alternativa se presenta como la más interesante en el corto y medio plazo, ya que permite tener una autonomía eléctrica que cubre las necesidades de kilometraje diario de más del 60% de los

ciudadanos europeos sin renunciar a la tecnología de combustión para afrontar viajes ocasionales más largos (European Commission, 2012).

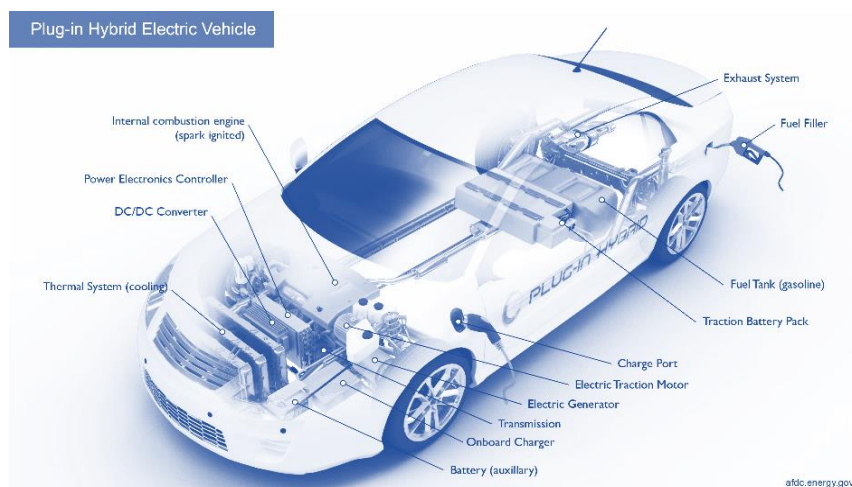


Figura 2.3: componentes de un PHEV

Fuente: (U.S. Department of Energy, AFDC, 2019)

2.2 Análisis de mercado

El lanzamiento en 2008 del Tesla Roadster, el primer eléctrico moderno, supuso un ejercicio comercial por parte de la pionera marca estadounidense para acercar esta tecnología a un reducido número de consumidores, aunque no fue hasta 2012 cuando comenzamos a observar una cantidad significativa de adquisiciones, gracias a la aparición en EEUU y Europa de modelos que apuntaban a diferentes segmentos con precios menos prohibitivos y una autonomía sensiblemente mejorada. Coches como el urbano Renault Zoe, el familiar Nissan Leaf o la berlina de representación de Tesla, el Model S. Mientras tanto, en China, hoy líder mundial en la adopción de esta tecnología, comenzaba a florecer un mercado por el que el Estado llevaba años apostando con políticas de incentivos a la innovación en la industria y de reducción de impuestos para los consumidores (Cong Liu, 2017).

La figura 2.4 aúna las ventas y la cuota de mercado de PHEV's y BEV's en los países más representativos. Como podemos observar China es la región que demanda más vehículos con más de 1.000.000 de unidades vendidas en el último registro, si bien a nivel de penetración de mercado es Noruega quien afianza el liderato con un sorprendente 46% en 2018, llegando al 56% en 2019 si tenemos en cuenta los últimos datos cosechados (EV-Volumes, 2020). Se trata de un caso aislado ya que el segundo país con más cuota de mercado fue Islandia con un 24,5% y el tercero Holanda con un 15%,

los tres con generosos programas de subsidios, importantes restricciones a los vehículos tradicionales y una destacable concienciación social, aparte de una alta renta per cápita.

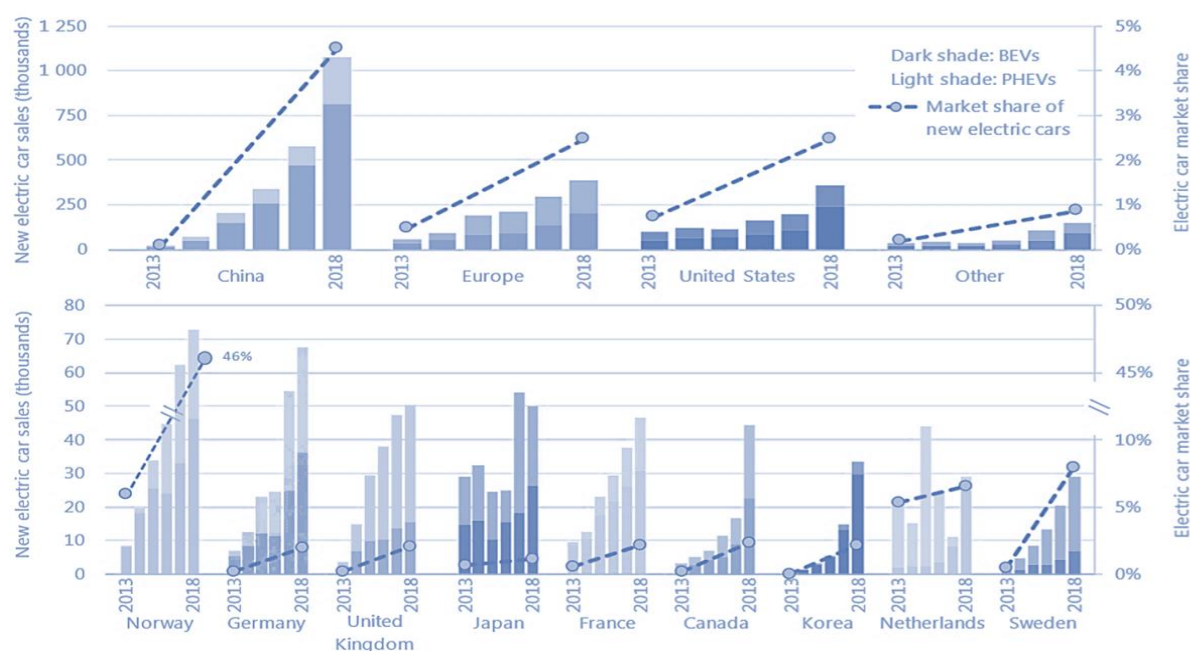


Figura 2.4 Electric car sales and market share 2013-2018

Fuente: (International Energy Agency , 2019)

Analizando la situación, llama la atención el caso de China, que atesora unas cifras de venta absolutas mayores que las de la UE y EEUU juntas, con un crecimiento imparable entre 2013-2018. A pesar de estos buenos datos, la tendencia ha frenado bruscamente en 2019, tal y como podemos contemplar en la figura 2.5. Esto fue debido a una disminución de las ayudas a la compra y de un endurecimiento de los requerimientos técnicos a los productores. Esta reducción drástica en el nivel de crecimiento es también evidente en otras naciones como EEUU y Japón, donde las ventas incluso decrecieron con respecto a 2018, un 12% menos en EEUU con 318.000 unidades y un 16% en Japón con 44.000. En EEUU el decrecimiento ha sido inesperado y se debe en buena parte a que en 2018 se efectuó una gran cantidad de entregas pendientes del Tesla Model 3, lo que acentuó las cifras de ese año y ya en 2019 asistimos a una estabilización de ese pico de demanda.

En Europa las cifras del año 2019 con respecto al ejercicio anterior destacan por una subida del 44%, lo que se traduce en la matriculación de 590.000 unidades, siendo Alemania y Holanda los mayores contribuyentes a este crecimiento. En cualquier caso, la desaceleración del crecimiento queda patente si tenemos en cuenta que entre 2012-2018 el mercado de los eléctricos e híbridos enchufables creció a una media anual del 60% y llegado 2019 se redujo a tan solo el 9% (EV-Volumes, 2020).

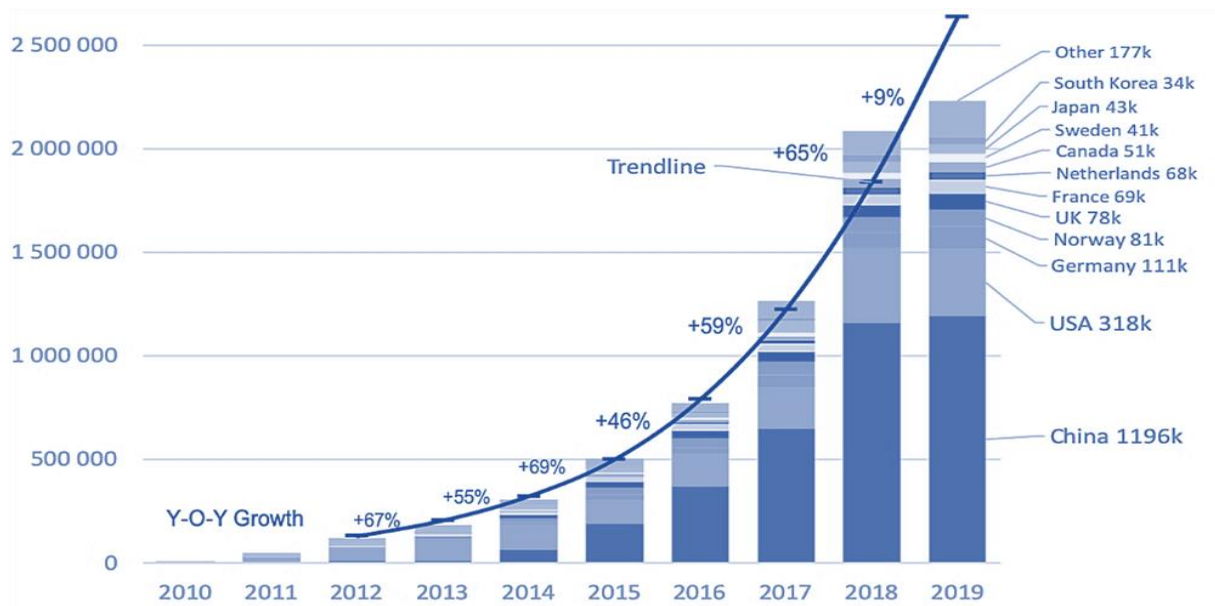


Figura 2.5 Global BEV and PHEV deliveries (thousand units)

Fuente: (EV-Volumes, 2020)

La evolución del mercado de vehículos BEV y PHEV nos deja en la actualidad con un stock global de casi 7,5 millones de coches de los cuales el 64% son completamente eléctricos. Para recargarlos se estima la existencia en 2018 de 5,2 millones de puntos de carga, 300.000 de ellos de tipo rápido y 540.000 de acceso público, lo que se traduce en un consumo total de la flota para ese mismo año de aproximadamente 58 terawattios/hora (tWh) y unas emisiones para la obtención de esa electricidad de 32 millones de toneladas de CO₂ o, lo que es lo mismo, 40 millones de toneladas menos de las que hubieran emitido el mismo número de coches de combustión interna ese mismo año (International Energy Agency , 2019).

Tras repasar el histórico de ventas de los últimos ejercicios, podemos afirmar que la adopción del coche eléctrico y de los híbridos enchufables comienza ahora a despegar después de considerarse durante años una tecnología casi anecdótica con una residual representación en cuanto a cuota de mercado se refiere. En los próximos años asistiremos a la llegada al mercado de multitud de modelos inéditos tanto de marcas de nueva creación como de las más veteranas, cada vez con mejor autonomía y precios más competitivos respecto a sus homólogos de combustión. La única incógnita que nos queda por despejar es por cuánto tiempo el crecimiento de este mercado se mantendrá estable y cuándo comenzará a ralentizarse, lo que intentaremos averiguar a continuación con las previsiones de mercado.

2.3 Previsiones de crecimiento

Pese a la acusada desaceleración en el ritmo de crecimiento observada en 2019, las previsiones para el medio y largo plazo en el mercado de los vehículos eléctricos e híbridos enchufables son bastante optimistas. De acuerdo con el informe Battery electric vehicles de Deloitte (2019) y como podemos comprobar en la figura 2.6, se espera que en la actual década se pase de una cuota de mercado global inferior al 5% a situarse en el entorno del 20% (lo que supone 14 millones de unidades vendidas), con un claro retroceso en la compra de vehículos de combustión interna a partir del año 2024. Según los analistas de esta investigación, 2022 será un ejercicio decisivo dado que en ese mismo año el coste de propiedad de un vehículo tradicional y uno eléctrico se igualarán por primera vez, hecho que debiera impulsar aún más su avance en el mercado. Las cifras de los próximos años dependerán de dos factores decisivos, por un lado de las necesidades de la demanda y por otro de las regulaciones y políticas aplicadas en las distintas regiones.

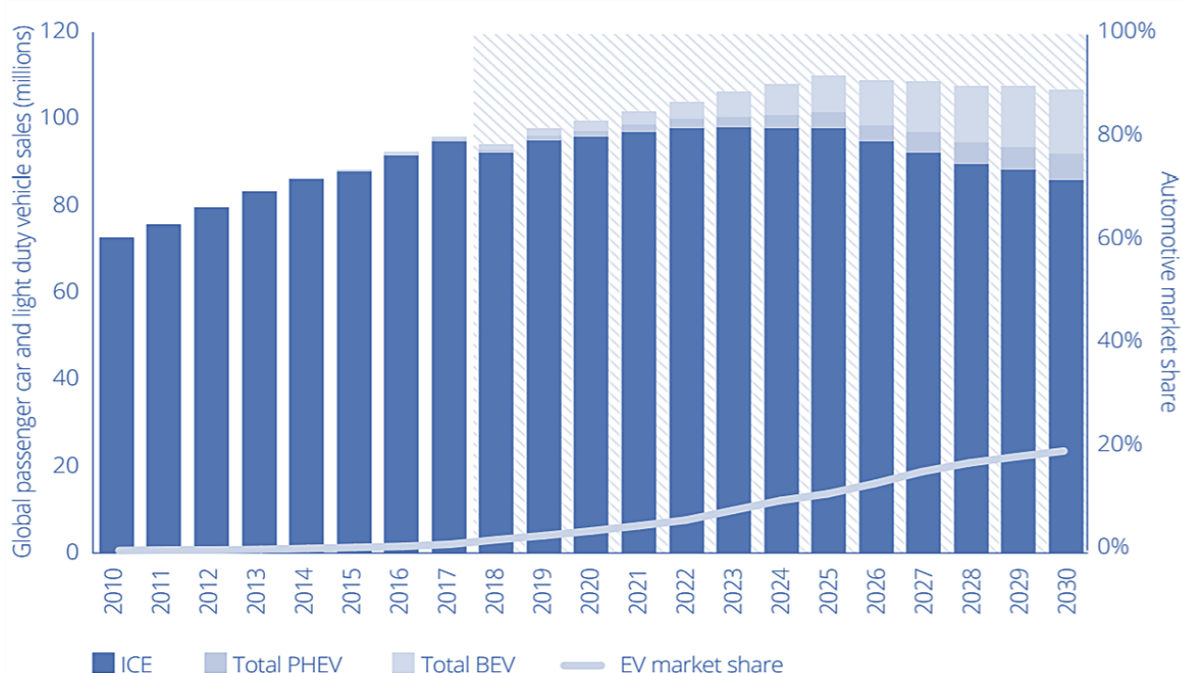


Figura 2.6 Outlook for annual global passenger car and light duty vehicle sales

Fuente: (Deloitte, 2019)

A nivel regulatorio estamos asistiendo a una limitación progresiva de la circulación de vehículos de combustión interna en las grandes y medianas ciudades alrededor del mundo, en algunas de ellas incluso se contempla la completa prohibición de su uso o compra en el largo plazo. Cada región aplica en la actualidad e impondrá en un futuro diferentes regulaciones con un mismo objetivo: reducir drásticamente las emisiones contaminantes derivadas del uso de estos vehículos. Por ejemplo, París pretende prohibir la circulación de los ICE en el centro urbano a partir de 2030 y en Reino Unido las urbes más importantes

cuentan ya con zonas céntricas de cero emisiones, algo parecido a lo acontecido en otras ciudades europeas como Madrid. En Pekín la compra de vehículo nuevo está restringida a un sorteo de matrículas en la que los coches de estas características tienen un 60% de las placas reservadas. Estas regulaciones son un importante factor para inducir al cambio de movilidad en los consumidores (Zimmermann, 2018). De acuerdo con el marco de la actual Política de Transportes Común de la Unión Europea, esta tendencia se intensificará en las urbes, eludiendo no solo a la necesaria reducción de la polución y la emisión de gases de efecto invernadero, sino a la problemática de la contaminación acústica y la dependencia de petróleo presente en el continente (Comisión Europea, 2011). Esto se engloba dentro del objetivo de la Comisión Europea de alcanzar la neutralidad climática en 2050 (Leyen, 2019).

Otra de las regulaciones más comunes son los estándares de consumo de combustible y emisiones. En la UE la norma que rige este aspecto desde el 1 de septiembre de 2019 es la denominada Euro 6d-TEMP, que entre otros requisitos especifica de forma más clara y rigurosa la metodología utilizada durante las pruebas de consumo y emisiones de los vehículos. Este nuevo ciclo pasa a denominarse WLTP (World Harmonized Light-duty Vehicle Test Procedure) y entre otras ventajas promete unos niveles de consumo y emisiones más cercanos al uso real de los vehículos. Como su propio nombre indica es de carácter global, desarrollado en colaboración con varios países para facilitar a los productores la adaptación a dicho criterio (International Council of Clean Transportation (ICCT), 2017). Surge a raíz de que la Agencia de Protección Ambiental de EEUU (EPA), descubriera en 2015 que algunos vehículos diésel del Grupo Volkswagen emitían cantidades de NO_x significativamente más altas a las declaradas. El suceso, que tuvo una gran repercusión a nivel mundial, se denominó *Dieselpgate* y consistía en una manipulación del software para simular cifras de emisiones irreales en los test de homologación (Actualidad Motor, 2015).

Los subsidios para la compra de estos automóviles son la principal política económica empleada sobre la demanda, bien sea con ayudas financieras directas, con exenciones en el pago de impuestos o con ventajas a la hora de circular. Ha quedado patente que son una medida eficaz para la incentivación de los consumidores tal y como se ha podido ver en el caso de China, donde el crecimiento del mercado disminuyó drásticamente al reducir las ayudas gubernamentales. Desde el punto de vista de la oferta, estos incentivos resultan clave para que los productores puedan competir vía precio respecto a los coches tradicionales y fomentar la demanda (Deloitte, 2019).

Con respecto a las necesidades de los consumidores, será decisiva la capacidad de las marcas para cumplir cuanto antes con los requisitos que la demanda exige para elegir este tipo de vehículos en contraposición a los tradicionales. Según una encuesta realizada por Deloitte, la primera preocupación del consumidor a la hora de plantearse la compra de un vehículo eléctrico es la autonomía, la cual está

ligada con el tercer inconveniente más común; la disponibilidad de una extensa infraestructura de cargadores (Deloitte, 2018). Estos dos problemas irán desapareciendo paulatinamente con la llegada de la siguiente generación de baterías y con la ayuda de una red de recarga que se encuentra en pleno crecimiento. El segundo motivo por el que los consumidores no se decantan por la alternativa eléctrica es el precio, el cual se igualará en pocos años al de los modelos tradicionales como hemos visto gracias al abaratamiento de costes en la producción de las baterías (International Energy Agency , 2019).

2.4 La disputa del mercado

Buena parte del *boom* generado en torno a la adopción del vehículo eléctrico que hemos analizado es debido a la pronta inversión realizada por un selecto grupo de fabricantes tradicionales y a la entrada en el mercado de nuevos productores. Estos sucesos han obligado a que el resto de los productores, sobre todo los de carácter más conservador, se lancen a desarrollar vehículos electrificados.

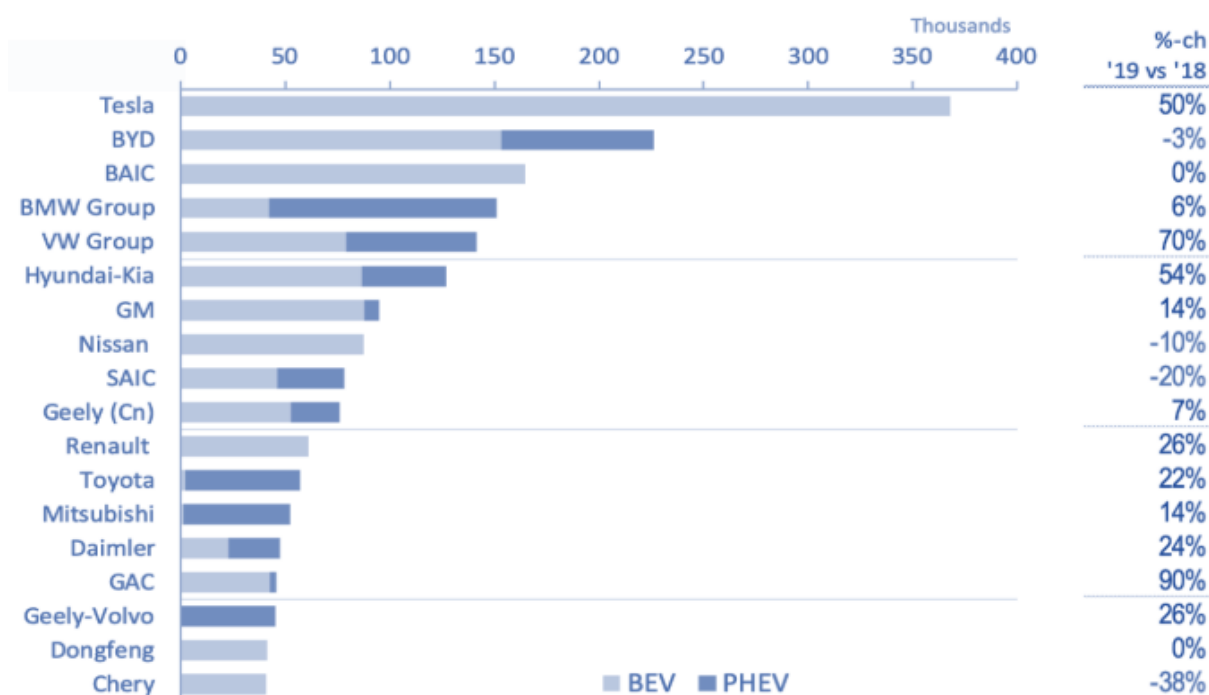


Figura 2.7 Global EV and PHEV sales by brand.

Fuente: (EV-Volumes, 2020)

A principios de siglo la mayoría de los fabricantes tradicionales ya habían realizado, o comenzaban a realizar, inversiones en investigación y desarrollo para crear prototipos de coches eléctricos. Algunos de ellos llegaron a impulsar proyectos piloto de producción a pequeña escala en grandes ciudades de Japón, China y California, donde un reducido número de clientes tuvo la oportunidad de dar uso a estos modelos durante meses. El objetivo de estos programas consistía en recabar datos para perfeccionar el producto

final de cara a una futura producción en masa, cuando ésta fuera viable a nivel de costes. Hablamos de marcas y grupos reconocidos como General Motors, Toyota, BMW Group y la alianza Nissan-Renault (World Electric Vehicle Journal Vol. 5, 2012).

No obstante y respaldándonos en los datos de la figura 2.7, llama la atención que Tesla, una marca creada en 2003, se posicione como líder mundial a nivel de ventas y que buena parte de sus competidores, de origen Chino, sean capaces de copar las primeras posiciones del ranking de producción de coches eléctricos sin ni siquiera participar en el mercado europeo ni estadounidense, los segundos y terceros más importantes.

BYD, que junto a BAIC, SAIC y Geely forma parte de las marcas chinas mejor posicionadas, nació en Shenzhen a mediados de los noventa como suministrador de baterías para empresas tecnológicas como Nokia o Dell. En 2002 adquirió una marca de coches local y el mismo año que Tesla presentaba su primer modelo lanzó al mercado el primer PHEV de la historia. El hecho de ser productores de baterías les brindó una oportunidad única que aprovecharon para coronarse como el primer productor chino de vehículos electrificados (Bloomberg, 2019). Su gama de vehículos está muy diversificada, hecho que justifica su elevado nivel de ventas sin posicionar más de un coche en el top diez de modelos electrificados que apreciamos en la figura 2.8.

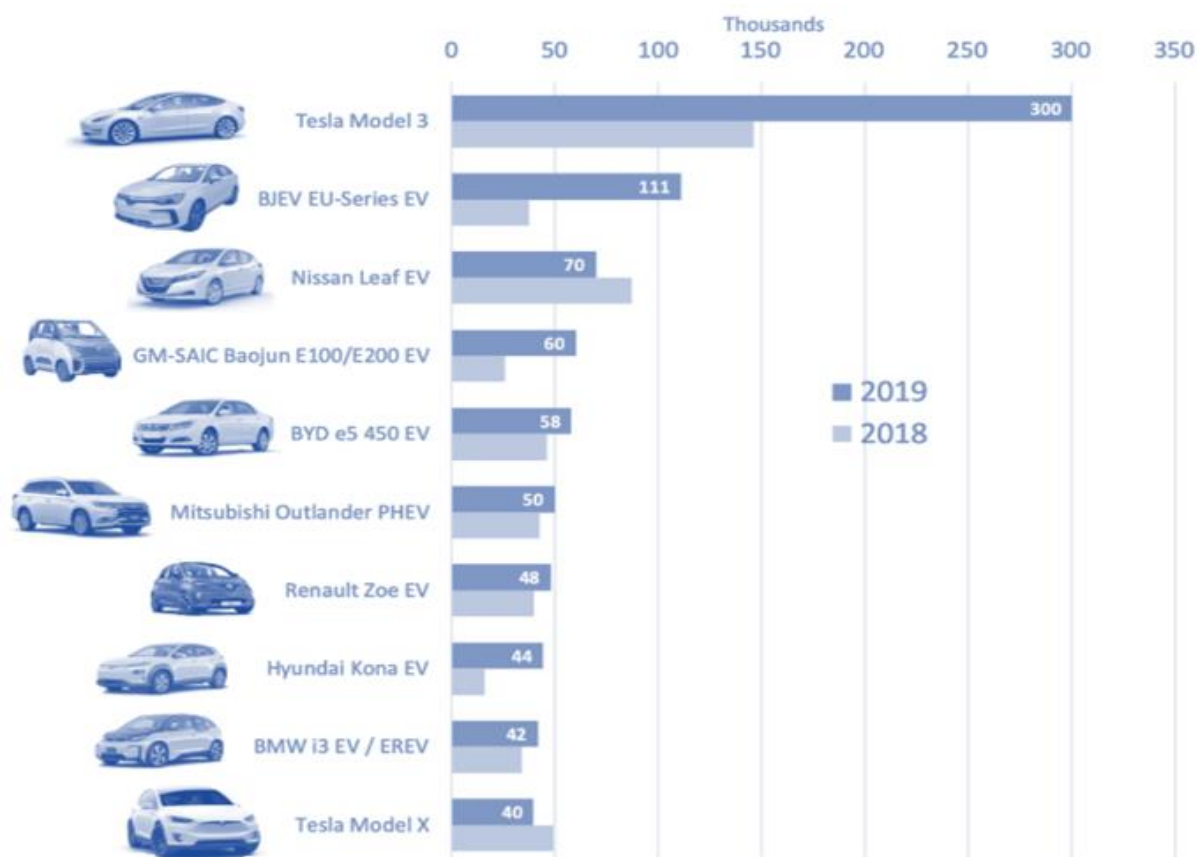


Figura 2.8 Top ten EV models Global deliveries

Fuente: (EV-Volumes, 2020)

Como podemos ver, el Tesla Model 3 aparece primero en el ranking, seguido del modelo BJEV EU-Series EV de BAIC. Dos coches de la citada alianza Nissan-Renault se posicionan en tercera y séptima posición. Al igual que BYD, BMW consigue un gran número de ventas, aunque solo aparece con el i3 en novena posición, debido a una gama muy diversificada, de igual forma que General Motors, que no aparece en la lista de modelos más vendidos.

El Grupo Volkswagen, si bien no fue uno de los productores tradicionales pioneros en la apuesta por la electrificación, sí que invirtió, a posteriori, grandes sumas de dinero en esta tecnología, lo que le ha valido para situarse como cuarta fuerza en el mercado con un incremento respecto a 2018 del 70%, aunque todavía esté a más de 200.000 unidades por debajo de Tesla. Para revertir esta situación, el Grupo Volkswagen, líder mundial en la venta de vehículos, invertirá sesenta mil millones de euros para traer al mercado, de aquí a 2029, 75 modelos eléctricos y 60 híbridos (Alaniz, 2019).

2.5 Las cinco fuerzas competitivas

Llegados a este punto de la investigación ya hemos repasado en qué regiones se están vendiendo más vehículos eléctricos y qué productores son los que lideran el mercado. A continuación, desarrollaremos el modelo de las cinco fuerzas competitivas de Porter con el fin de terminar de esbozar una perspectiva global de la situación de la industria. Desde una posición vertical analizaremos a proveedores y clientes, desde el plano horizontal la posible incorporación de productos sustitutivos y las nuevas entradas al mercado, y finalmente a la competencia entre productores existentes.

Debido a que la mayor parte de suministradores de baterías no se dedica en exclusiva al sector y que, por tanto, cuentan con sectores alternativos en los que poder ofrecer sus soluciones, la fuerza competitiva más destacada es el poder de negociación que pueden llegar a obtener los proveedores de este componente. Esta evidencia provoca que las marcas tiendan a colaborar de forma más estrecha con los grandes productores para forjar una relación más provechosa para ambos, además de buscar adquisiciones de pequeñas empresas con un destacado conocimiento técnico que les permita ganar ventaja competitiva. En este sentido, lo ideal para la marca sería ser ella misma la fabricante de baterías, como es el caso de Tesla o BYD.

El público objetivo al que está dirigido esta clase de vehículos en la actualidad son los denominados *early adopters* o adoptadores tempranos (un grupo no muy amplio de consumidores que está dispuesto a pagar más por tener en primicia un producto de nuevo desarrollo). Al tratarse de un número reducido de posibles clientes, cuenta con más poder a la hora de negociar el precio de compra. No obstante, esta

fuerza que son capaces de ejercer es leve y se irá reduciendo a medida que se incorpore la mayoría de los clientes potenciales al mercado.

La rivalidad entre productores puede parecer hoy escasa debido a la reducida oferta de modelos electrificados en comparación con la existente de vehículos tradicionales, pero sin lugar a duda la competencia entre ambos mercados se irá igualando a medida que se incorporen nuevos modelos de distintas marcas. De hecho, se espera que para el año 2025 se lancen al mercado más de 230 nuevos modelos electrificados (Jasper, 2019).

La inversión necesaria para desarrollar y producir un vehículo eléctrico supone una importante barrera de entrada al mercado para competidores surgidos desde cero. En cualquier caso, esta posibilidad no es tan lejana teniendo en cuenta que los costes de producción no son tan acusados como en el caso de los vehículos tradicionales, más complejos en el plano técnico. Hay varios ejemplos de este fenómeno en el mercado. Tesla es el más clásico, pero nos encontramos con otros casos como el de Karma Automotive o la posibilidad de que resurjan marcas ya extintas o al borde de la desaparición, como Saab (Hampel, 2020) o Lotus (Duff, 2019).

La electrificación crea una oportunidad inédita de participar en el sector de la automoción a empresas tecnológicas y productores de motores eléctricos o baterías, ello gracias al conocimiento que atesoran sobre estos componentes clave que, como hemos visto, son los que mayor valor añadido aportan al conjunto. Hablamos de empresas como Dyson, Sony o BYD. También se abre la puerta a posibles fusiones, adquisiciones y *joint-ventures*, como la conocida recientemente entre Toyota y la citada BYD, que está llamada a copar un gran número de ventas por la posición de liderazgo que ostentan ambos productores. La nueva marca se llamará BTET y ha sido creada con el objetivo de investigar, desarrollar y producir vehículos eléctricos (Gutiérrez, 2020).

Por último, la amenaza menos peligrosa consiste en la aparición de productos sustitutivos que provoque que el cliente final deje de comprar un vehículo electrificado en favor de otra alternativa. En este campo, cabe destacar la llegada de productos como los patinetes, bicicletas y *scooters* eléctricos que podrían llegar a desplazar a los coches en trayectos urbanos cortos (World Electric Vehicle Journal Vol. 5). Sin embargo, sí que existe otro tipo de tecnología que dentro del propio sector automovilístico podría disputarle cuota a los BEV en el largo plazo; los coches de pila de combustible o Fuel Cell Electric Vehicles (FCEV). Esta tecnología se encuentra en la misma fase en la que se situaba la tecnología eléctrica hace aproximadamente veinte años, con marcas como BMW, Toyota o Hyundai invirtiendo grandes sumas de dinero en su desarrollo. A grandes rasgos, es una propulsión que emite cero emisiones contaminantes (su combustible es el hidrógeno) y tiene una ventaja añadida con respecto a

los eléctricos actuales; más autonomía y la posibilidad de repostar de forma rápida y sencilla, del mismo modo que en un coche convencional. Juegan en su contra la mayor complejidad técnica, un menor nivel de eficiencia energética y una red de repostaje prácticamente inexistente (Amaya, 2020).

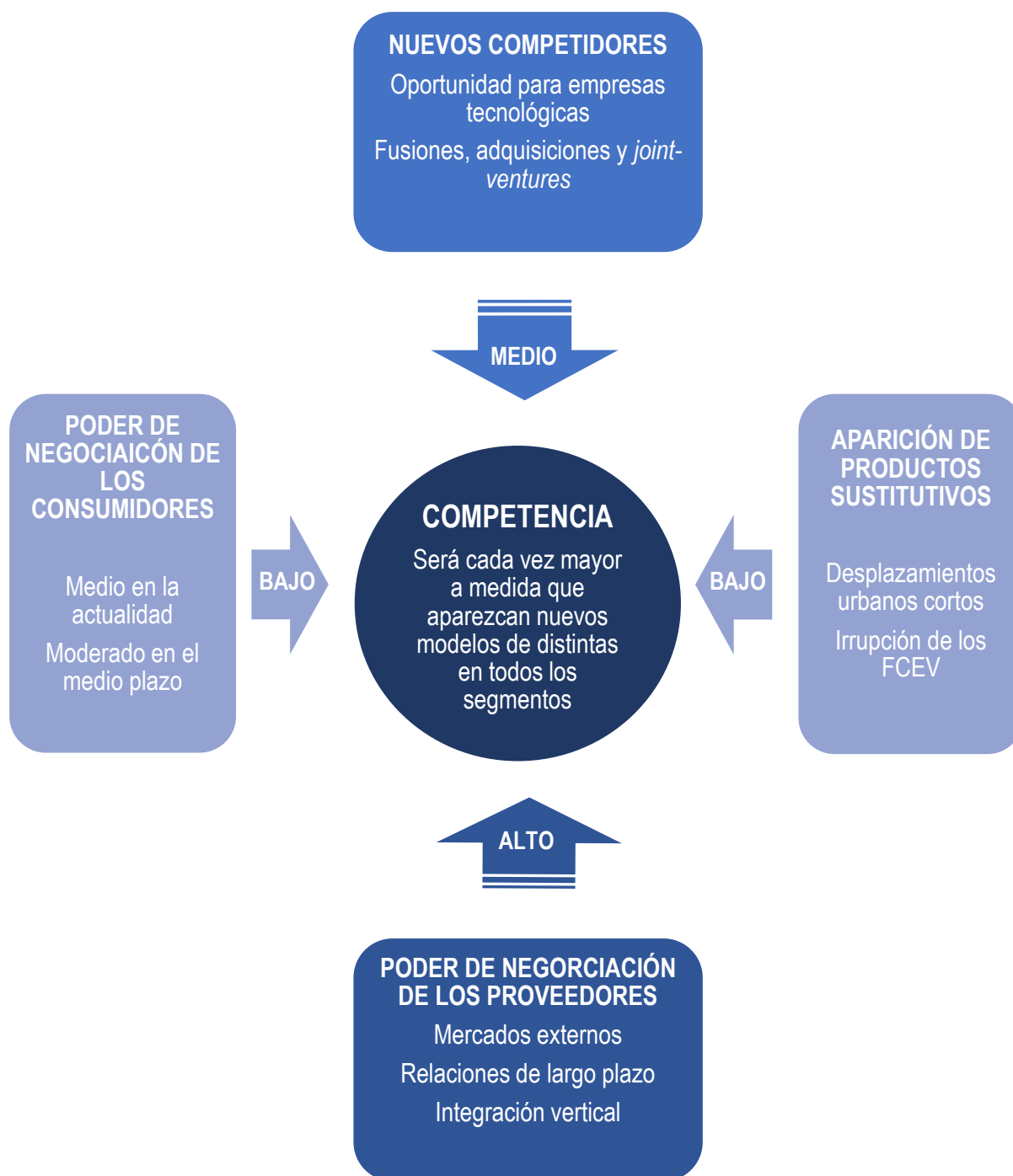


Figura 2.9: Las cinco fuerzas competitivas del mercado de los EV y PHEV

Fuente: Elaboración propia.

3. LA PRODUCCIÓN DEL VEHÍCULO ELÉTRICO

Como no podía ser de otra manera, las diferencias de los BEV en el plano tecnológico conllevan que las marcas opten por formas de producción inéditas que se adapten a los nuevos requerimientos técnicos. Estos cambios tienen un impacto directo en la cadena de valor, lo cual afecta a las propias marcas, a sus proveedores y a la logística ligada a la producción y el transporte de componentes. Esta variación tiene el poder, indirectamente, de cambiar el comportamiento del comercio internacional y de modificar la dinámica de las regiones económicas más expuestas al sector automotriz (Research and Markets, 2019).

En nuestra senda hacia la comprensión del marco productivo de los vehículos electrificados, comenzaremos por repasar la cadena de valor de la batería y los motores, los dos componentes de mayor valor añadido.

3.1 Las baterías

De acuerdo con José Alarco y Peter Talbot en *The history and development of batteries* “las baterías son, en esencia, un objeto que almacena energía química para convertirla en electricidad. Básicamente son pequeños reactores químicos que producen electrones listos para usar en un dispositivo” (Talbot, 2015, p. 1).

A la hora de analizar las baterías es clave tener tres aspectos técnicos en cuenta:

El primero son los ciclos de carga estimados: el número de veces que una batería es capaz de recargarse manteniendo un buen nivel de rendimiento, o lo que es lo mismo, su vida útil. Dependiendo de la composición de la batería, la temperatura ambiental durante el uso y la eficacia del sistema de refrigeración del vehículo entre otros factores, la degradación variará en mayor o menor medida.

En segundo lugar, es importante conocer la capacidad de las baterías, la cual medimos en kilovatios/hora (kWh). Cuanta más capacidad mejor autonomía, pero también mayor coste y tiempo de recarga.

La densidad energética o energía específica es el tercer factor clave para poder comparar las baterías. Este indicador se mide en vatios-hora/Kg (Wh/kg) y nos ofrece una clara imagen del nivel de desarrollo tecnológico de la batería. Con una mayor densidad energética conseguimos baterías más capaces y con menor volumen y peso, lo cual es relevante teniendo en cuenta que se trata del componente que más espacio ocupa y que más kilos aporta al conjunto del vehículo (Seeking Alpha, 2017).

Una vez hemos atendido a la tipología, la composición y el funcionamiento técnico de las baterías, pasamos a analizar la cadena de valor de las mismas. La cadena de valor consta de distintas etapas que estudiaremos de forma independiente en los puntos siguientes. La primera fase es la obtención y refinamiento de las materias primas en su estado más básico, le sigue la manufacturación de las células y sus componentes, y por último la fabricación de la batería final.

3.1.1 Tipología, composición y funcionamiento

La Asociación europea de productores de automóviles y baterías (EUROBAT por sus siglas en inglés), identifica tres variantes tecnológicas para el almacenamiento de energía en la industria del automóvil: las baterías producidas con plomo, las que emplean níquel y las basadas en litio (M-Five, 2016). Cada clase cuenta a la vez con variantes que difieren en cuanto a su densidad energética, sus ciclos de carga, el nivel de seguridad que brindan o la proporción de materias que emplean (Nicolò Campagnol, 2018).

Las baterías a base de plomo son las que encontramos en la inmensa mayoría de coches de combustión con el fin de alimentar su sistema eléctrico. En los coches híbridos y eléctricos también es común hacer uso de ella como batería auxiliar, lo que permite dar soporte a la red de a bordo y se emplea como revulsivo para los sistemas de seguridad en caso de fallo en la batería principal. Son fiables y de coste reducido, pero no destacan por contar con una buena densidad energética. En cualquier caso, no es una tecnología que vaya a abandonarse en el medio plazo, sino que se esperan desarrollos orientados a extender su ciclo de vida, a aumentar su eficiencia y a mejorar su entrega de potencia (M-Five, 2016).

Las baterías de níquel son las que utilizan frecuentemente los HEV y algunos PHEV con reducida autonomía eléctrica. No son aptas para su implantación en coches puramente eléctricos ya que su baja densidad energética obligaría a utilizar baterías de gran formato que ocuparían mucho espacio y pesarían demasiado. Pese a ello, es la tecnología ideal para coches híbridos por su reducido coste y mayor densidad energética respecto a la tecnología basada en plomo (M-Five, 2016).

Las baterías que emplean el litio como elemento principal son, en la actualidad, las más apropiadas para almacenar energía en coches eléctricos e híbridos enchufables gracias a su elevada densidad energética (M-Five, 2016). Su coste, si bien ha permanecido alto a lo largo de los años, se ha reducido rápida y progresivamente, gracias a los avances tecnológicos, a la producción en masa y a una cadena de suministro más madura (Seeking Alpha, 2017).

De esta forma el coste de un kWh (para una batería ya manufacturada) ha pasado de 1.183\$ en 2010 a 156\$ en 2019, lo que supone un 87% de reducción en menos de diez años (Bloomberg NEF, 2019).

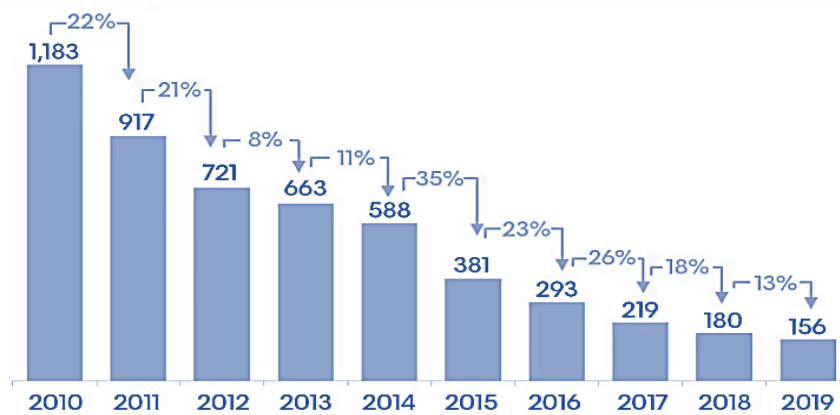


Figura 3.1: Battery pack Price \$/kWh

Fuente: (Bloomberg NEF, 2019)

Las células, celdas, o pilas, son el corazón de todas las baterías y es donde sucede la reacción química que genera electricidad. Las celdas de una batería de litio están compuestas por dos polos: uno positivo al cual denominamos cátodo y contiene un electrodo positivo; y otro negativo, que recibe el nombre de ánodo e incluye un electrodo negativo. Estos dos componentes están separados por un disolvente químico al cual llamamos electrolito. La diversidad de metales con los que se pueden fabricar los componentes de una celda, en especial el cátodo, da lugar a diversas variantes de baterías de litio, tal y como veremos a continuación.

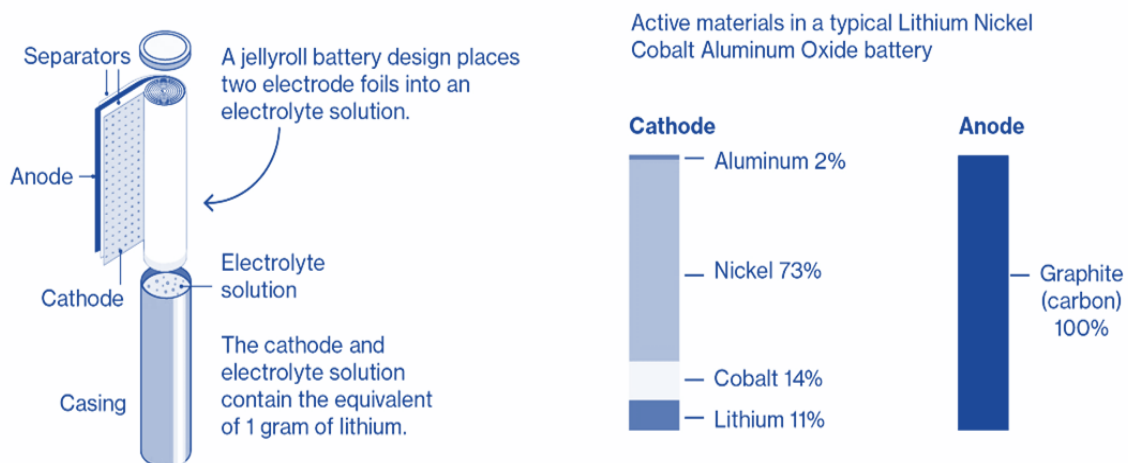


Figura 3.2: Material Components of a Lithium Ion Battery

Fuente: (Jessica Shankleman, 2017)

El litio, más allá de ser el metal más ligero de la tabla periódica (factor clave para lograr buenas densidades energéticas), es muy reactivo por su tendencia a perder su electrón. Esta cualidad favorece un mejor desempeño del cátodo, pero entraña un mayor riesgo durante su ciclo de funcionamiento (Learn Engineering, 2019). Para paliar este inconveniente, es necesario incorporar el litio en una estructura que le confiera un comportamiento mucho más estable. Las primeras versiones de los cátodos se componían de óxido de litio-cobalto (LCO) (Battery University, 2019), pero ya en 2016 predominaban el fosfato de

litio y hierro (LFP) y una combinación específica de níquel, manganeso y cobalto denominada NMC111 (Nicolò Campagnol, 2018). El cobalto empleado en los NMC111 es un material que, aparte de ser escaso y por tanto caro, entraña otros riesgos potenciales para la cadena de suministro de baterías (M-Five, 2016). A partir de 2019, comienza a imponerse en el mercado una nueva generación de cátodos, desarrollados con el objetivo de reducir la exposición al cobalto de los fabricantes. Estas soluciones incluyen níquel y manganeso en mayor proporción que en el NMC111 y reciben el nombre de NMC622 y NMC811. Este último, por ejemplo, contiene un 25% menos de cobalto que el NMC111, lo que se compensa con un uso más intensivo de níquel tipo 1, el predominante en la industria. Se espera que las baterías a base de estos dos cátodos de reciente desarrollo copen más del 90% de la cuota de mercado entre 2025-2030 (Nicolò Campagnol, 2018).

El ánodo es menos complejo a nivel químico, de hecho, se compone de grafito en el grueso de las baterías de litio. En el medio plazo se espera que el silicio sustituya a este mineral, con lo que se podría cuadruplicar la capacidad del ánodo (University of Eastern Finland, 2017). Materiales como el aluminio y el cobre también son empleados para los colectores de corriente que contienen en sus extremos el ánodo y el cátodo (Learn Engineering, 2019).

La sal de litio es la base del electrolito, si bien existen diversas investigaciones que buscan alternativas de estado sólido que ayuden a reducir los problemas de sobrecalentamiento (Seeking Alpha, 2017). Precisamente, ante un eventual colapso por exceso de temperatura, el electrolito cuenta con un separador de polipropileno o polietileno que impediría un cortocircuito capaz de provocar una explosión (Learn Engineering, 2019). El electrolito permite el desplazamiento de los iones de litio al ánodo cuando la batería se carga y al positivo en el proceso opuesto. A su vez, este electrolito fuerza a los electrones desprendidos del átomo de litio a dirigirse al ánodo por un circuito de corriente externo. Es allí donde se juntan el ion y el electrón para volver a componer el átomo de litio. Cuando todos los átomos de litio llegan al polo negativo consideramos que la batería está recargada, lista para realizar el mismo proceso pero a la inversa, generando la electricidad de la que se alimentan los sistemas del vehículo (Learn Engineering, 2019).

Las pilas tienen diferente formato dependiendo del fabricante, aunque por lo general cuentan con una forma cilíndrica (a semejanza de las pilas tradicionales), o rectangular y plana (figura 3.3)

Se agrupan en módulos y estos, a su vez, en *packs*, de forma que en caso de avería es posible reemplazar el paquete de módulos defectuoso sin necesidad de sustituir el conjunto de la batería (figura 3.4). Esta arquitectura también brinda mayor nivel de seguridad al aislar los *packs* unos de otros ante una posible fuga (Asciación Valenciana del Vehículo Eléctrico (AVVE), 2018). El conjunto

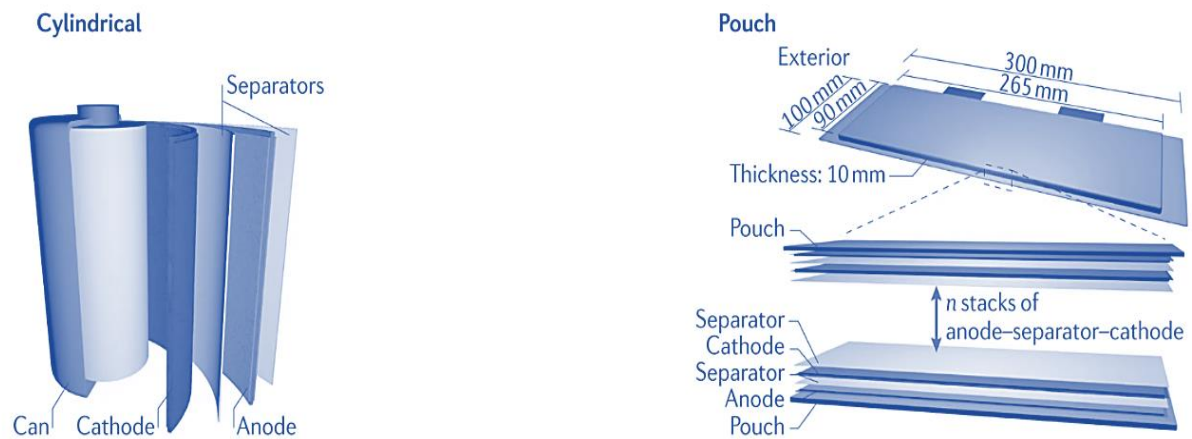


Figura 3.3: Comercial cell structures

Fuente: (Aurbach, 2016)

está gobernado por una unidad de control, o Battery Management System (BMS), que gestiona la carga, la descarga, la seguridad y la salud de la batería (Salehen, 2017), que finalmente, queda protegida por una carcasa que la envuelve.

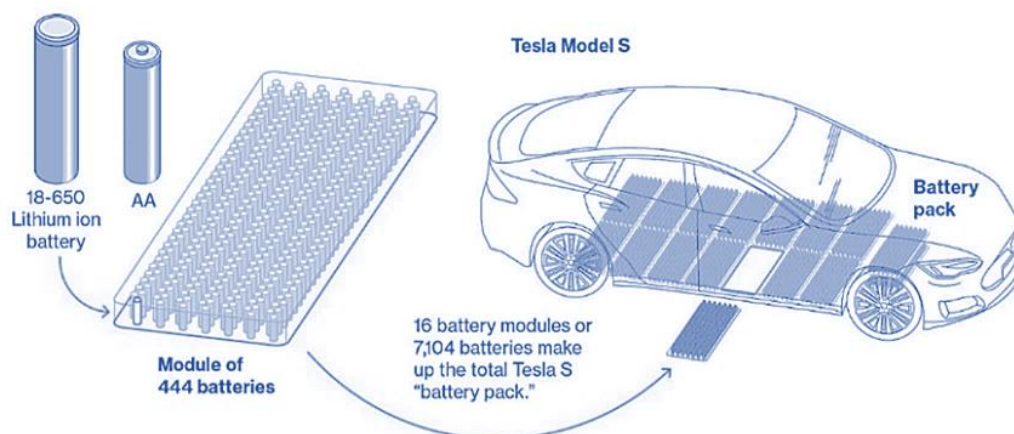


Figura 3.4: Tesla's Battery Pack

Fuente: (Jessica Shankleman, 2017)

3.1.2 Extracción y refinado de las materias primas

Tras entender el funcionamiento de las baterías de litio, repasar los materiales que las componen y explicar su arquitectura de montaje, ahora nos detendremos a estudiar el primer estadio de la cadena de suministro de este componente: la obtención de las materias primas. Se trata de una parte relevante, ya que aproximadamente el 20% del valor final de las mismas se corresponde al coste de adquisición de los recursos necesarios para su producción. Los precios de metales como el litio, el níquel y el cobalto se han incrementado progresivamente en los últimos años por el aumento de la demanda de baterías.

Su relativa escasez tampoco ayuda a la hora de estabilizar sus precios en el mercado (Nicolò Campagnol, 2018).

El recurso principal, el litio, se encuentra en la naturaleza en forma de sal o como parte de rocas como la pegmatita. La mayor parte de los yacimientos de sal se encuentran en el denominado “Triángulo del litio”, en el desierto de Atacama, que abarca territorio de Chile, Bolivia y Argentina. Las principales compañías mineras explotadoras del litio chileno (generador del 34% del litio mundial) son Albermale y Sociedad Química y Minera (SQM), mientras que Food Machinery Corporation (FMC) mina el litio en Argentina, tercer país con mayor cuota de mercado, un 16%. Australia es la nación líder en minería de litio, responsable del 40% de la extracción mundial. Sus yacimientos son rocosos, en vez de salinos, siendo la principal compañía minera Talison Lithium, cuyo accionariado se divide en un 49% perteneciente a la estadounidense Albermale y un 51% propiedad de la empresa minera china Sichuan Tianqi Lithium (Epica Mandal Sarkar, 2018).

En 2015, las baterías de litio fueron responsables del consumo del 40% de la producción global de este metal, de los cuales el 14% se utilizó específicamente para la creación de baterías de coches eléctricos. La proyección es que para 2025 se demanden 200.000 toneladas de litio anuales solamente para este fin, lo que supone la producción total del mineral en 2015. En principio, las reservas de este mineral son lo suficientemente abundantes como para afrontar este fuerte incremento de demanda, si bien es cierto que una industria de reciclaje de baterías más consolidada ayudaría a mantener un nivel de precios del litio más reducido (Lebedeva, 2016).

El cobalto es el material más crítico de la cadena de suministro. Es un metal escaso cuya explotación se reduce a un limitado número de países. La República Democrática del Congo extrae más de la mitad de la producción global anual (Epica Mandal Sarkar, 2018), lo que supone un riesgo para la cadena de suministro al tratarse de una región con gran inestabilidad política. Es por ello que los productores poseen un gran interés en invertir en el desarrollo de baterías que cada vez requieran la utilización de menos cobalto, como las que emplean cátodos CNM811 y CNM622. De esta forma, están expuestos a un menor riesgo y pueden reducir costes, ya que se trata de una materia prima de elevada cotización y con un valor con tendencia alcista. China, Rusia y Canadá son las otras regiones donde más cobalto se extrae (Epica Mandal Sarkar, 2018), componente que en 2017, constituía de media el 30% de la composición química de los cátodos (Coffin, 2018).

El níquel es otro de los materiales que ponen en riesgo a la cadena de suministro. Es escaso y casi el 50% de la producción mundial recae sobre tres países, Filipinas, Nueva Caledonia e Indonesia (International Energy Agency, 2019). Tanaka Corporation es líder en la producción de este mineral y en

la extracción de cobalto. El níquel es, junto al manganeso, el material llamado a sustituir al cobalto en el corto y medio plazo. El manganeso es más abundante y tiene reservas repartidas a lo largo del globo. Sudáfrica, Australia, Gabón y China son, de mayor a menor relevancia, los países en los que empresas como Mitsui, Sumitomo o S32 producen este mineral (Williams, 2019) y (Epica Mandal Sarkar, 2018).

Tal y como hemos visto, el grafito es el material más empleado para la producción del ánodo de las baterías. Tiene numerosas aplicaciones en procesos industriales, por lo que solamente el 4% de la producción se destina a la fabricación de baterías. El 67% de la producción mundial de grafito procede de China (George J. Simandl, 2015), donde empresas como China Graphite Group se encargan de explotarlo. Canadá es otra región con grandes yacimientos de grafito, de allí son originarias compañías como Mason Graphite, Graphite One y Northern Graphite (Epica Mandal Sarkar, 2018). De los metales que componen las células de las baterías, el grafito es uno de los que mayores reservas y producción atesoran. De hecho, se espera que este mismo año la producción de grafito supere en un 10% a la demanda (Lebedeva, 2016).

La empresa japonesa Asahi Kasei ostenta el liderato de la producción de separadores de polipropileno o polietileno, materiales derivados del plástico. Otras empresas como Cangzhou Mingzhu Plastic, Celgard o Daramic también son reconocidas en la fabricación de separadores (Epica Mandal Sarkar, 2018).

La gran incertidumbre en torno al suministro de materias primas es la rapidez con la que se adoptarán las baterías menos intensivas en el uso de cobalto. Dependiendo de ello, podrían incluso darse episodios de cuellos de botella en la producción debido a la escasez de cobalto y de níquel tipo 1, lo que se traduciría en una subida generalizada en el precio de las baterías que frenaría la implantación del coche eléctrico. Las nuevas tecnologías mineras de extracción o las baterías de estado sólido y litio-aire, podrían cambiar en el medio plazo la forma en la que se producen las baterías, abaratando costes y mejorando notablemente las prestaciones de los BEV y PHEV. El desarrollo de las actuales técnicas de reciclaje también supondría una ventaja a la hora de enfrentarse a la escasez de materias primas (Nicolò Campagnol, 2018).

A la espera de que se vayan despejando estas incógnitas, la estrategia de las marcas es clara:

Por un lado, optar en el corto plazo por cátodos a base de componentes menos escasos o provenientes de países geopolíticamente estables. También tratar de forjar una relación de largo plazo con los proveedores de metales clave como el litio, con el fin de obtener mejores condiciones y asegurarse el suministro ante un escenario de mayor escasez por un fuerte aumento de la demanda de vehículos electrificados.

Por otra parte, invertir en el desarrollo de nuevas baterías con mejores prestaciones que resulten más baratas de producir y sean más fáciles de reciclar, con especial interés por parte de los fabricantes chinos en lograr una mejor integración vertical de la cadena de suministros (Nicolò Campagnol, 2018).

3.1.3 Manufactura de los componentes

Se estima que, ya en 2015, el 25% de la producción mundial de cátodos estaba destinada a la creación de baterías de coches eléctricos o híbridos. Este mercado está dominado por Asia, con China a la cabeza manufacturando el 39% de los cátodos, seguida por Japón (19%) y Corea del Sur (7%). El conjunto de países de la UE solo produce 13% del total, destacando la empresa belga Umicore y Johnson Matthey de Reino Unido (Lebedeva, 2016).

La competencia para ganar cuota de mercado está en aumento, dado que cada vez se incorporan más empresas productoras. Es por ello que hablamos de un mercado dinámico que se encuentra en una fase de auge como respuesta al incremento gradual de la demanda. Este hecho es aún más comprensible si atendemos a la previsión de crecimiento del mercado, que pasará de contar con un valor de 16.380.000.000 \$ en 2018 a 26.610.000.000 \$ en 2026 (Reports and Data, 2019). Prueba de su relevancia, es que reconocidas compañías internacionales como 3M, Mitsubishi Chemical o LG Chem, han comenzado a participar en el sector, aunque sin lograr un liderazgo consistente por el momento (PILLOT, 2019)

La fabricación de ánodos también se incrementará. Se espera un aumento en la producción que pasará de las 76.000 toneladas en 2015 a más de 250.000 en 2025. Para ese año, se espera que el grafito natural pierda relevancia en favor del artificial, del cual estarán hechos el 52% de los ánodos. Las principales empresas del sector son originarias de Japón y China. De hecho, son tres compañías las que se reparten más de la mitad de la cuota de mercado: Hitachi Chemicals (Japón), BTR Energy (China) y Nippon Carbon (Japón). En total, Japón y China producen respectivamente el 57% y el 27% del total de ánodos. Nuevamente, empresas europeas y estadounidenses de reciente incorporación al mercado como SGL, Imerys, 3M o Dow se quedan sin una representación significativa en el sector por el momento (Lebedeva, 2016).

La realidad del tercer integrante más importante de las celdas, el electrolito, guarda mucha similitud con lo observado para los ánodos y los cátodos. Una vez más es Asia la región que controla el mercado, en especial China, que contribuye con un 60% de la producción, seguida de Japón con un 18% y Corea del Sur con un 14%. La demanda de este componente también ha tenido una tendencia alcista y ya en 2015

el 33% del volumen de ventas tenían como destino las baterías para vehículos electrificados. También es un mercado muy competido y con poca representación de compañías. Nos encontramos también con el mismo caso para el mercado de separadores, aunque en esta ocasión es Japón la nación con más aportación a la producción, un 48%, seguido de China (17%) y en tercer lugar Corea del Sur (12%) (PILLOT, 2019).

A las materias primas necesarias para la fabricación de baterías de litio se le suman el aluminio y el cobre, que son empleados para el colector del cátodo y del ánodo en esta etapa de la cadena de valor. La industria japonesa cuenta para ello con empresas punteras como Furukawa Electric, Sumitomo Light Metal Industries o Nippon Foil Mfg. (Lebedeva, 2016).

El alto nivel de competencia, la política de los estados con mayor aportación a la producción y la carrera tecnológica de los fabricantes para desarrollar nuevos materiales con los que ganar ventaja competitiva, marcarán la senda de los próximos años en el mercado de los componentes de celdas para baterías (Lebedeva, 2016).

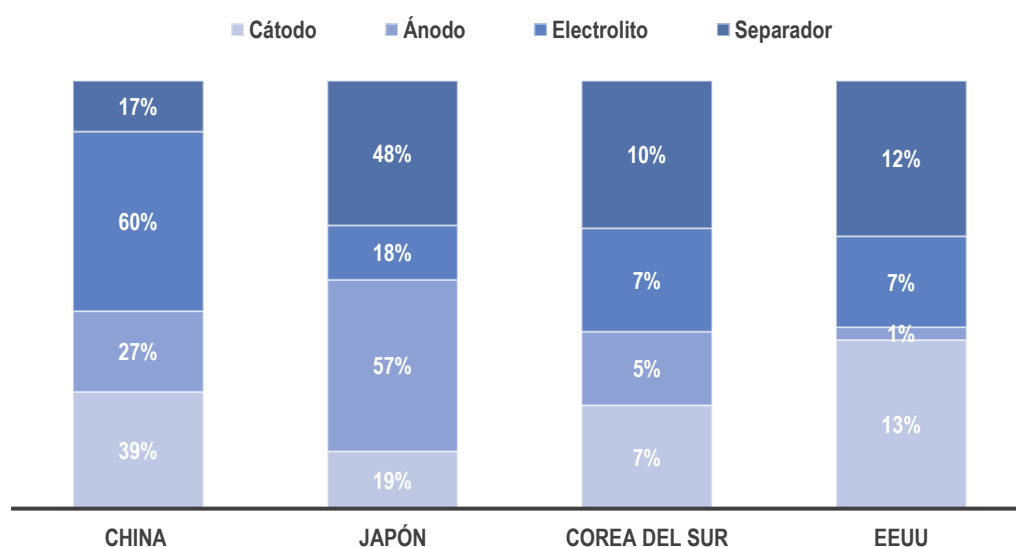


Figura 3.5: Contribución, en porcentaje, a la producción de los principales componentes de celdas por país.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (Lebedeva, 2016).

3.1.4 Producción de las células

A medida que nos desplazamos por la cadena de valor hacia fases más cercanas al producto final, nos encontramos con más casos de empresas que han seguido una estrategia de integración vertical hacia atrás en la cadena de suministro. Así, evitan problemas de desabastecimiento que afectarían a la

fabricación del producto final y les permite ahorrar costes logísticos y de proveedores. También les brinda un mayor control y conocimiento de la cadena de suministro.

De este modo, observamos que muchas de las empresas productoras de *packs* de baterías fabrican también las células de estas. Son ejemplo de ello Sony (empresa japonesa que lanzó al mercado la primera batería de litio en 1991), Samsung SDI (Corea del Sur), LG Chem (Corea del Sur), Sanyo-Panasonic (Japón) y BYD (China). Nuevamente, constatamos que el dominio de las compañías asiáticas (especialmente las chinas, japonesas y coreanas) sigue presente en esta etapa de la cadena de valor (Lebedeva, 2016). No obstante, EEUU aumentó significativamente su aportación cuando Tesla puso en funcionamiento junto a Panasonic la *Gigafactoría* de Nevada en 2017 (Dougher, 2018).

En lo relativo al volumen de mercado, cinco de estas compañías concentran casi el 75% de la producción: en orden de mayor a menor aportación, Samsung SDI, LG Chem, Sony, ATL y Tesla. Para localizar otro fabricante de automóviles en la lista, BYD, tendríamos que saltar hasta la novena posición de este ranking.

La fuerte concentración de la cadena de valor en Asia tiene su origen en las medidas adoptadas por Japón en la década de los noventa. Fue entonces cuando el gobierno japonés, al considerarlo un sector estratégico, creó un *cluster* para la cadena de suministro de baterías de litio orientado al mercado de la electrónica de consumo. Las instituciones favorecieron la inversión privada para crear una cadena de suministros que comprendía todo el proceso de fabricación, desde la extracción de materias primas hasta la producción final de las baterías. China y Corea del Sur siguieron el ejemplo de las políticas japonesas, que trajeron consigo una importante ventaja competitiva para las firmas gracias a la reducción de costes asociada a un alto nivel de integración vertical (Dougher, 2018).

Podemos avanzar que la supremacía asiática también seguirá presente en la fase final de la cadena de valor; la fabricación del paquete de batería.

3.1.5 Producción de las baterías

Previamente a la expansión del mercado de vehículos eléctricos, las baterías de litio estaban dirigidas, principalmente, a su utilización en productos electrónicos de consumo como *smartphones*, cámaras fotográficas u ordenadores portátiles. Sin embargo, este panorama está cambiando radicalmente debido a la adopción de medios de transporte por carretera alternativos, tal y como podemos observar en la figura 3.6.

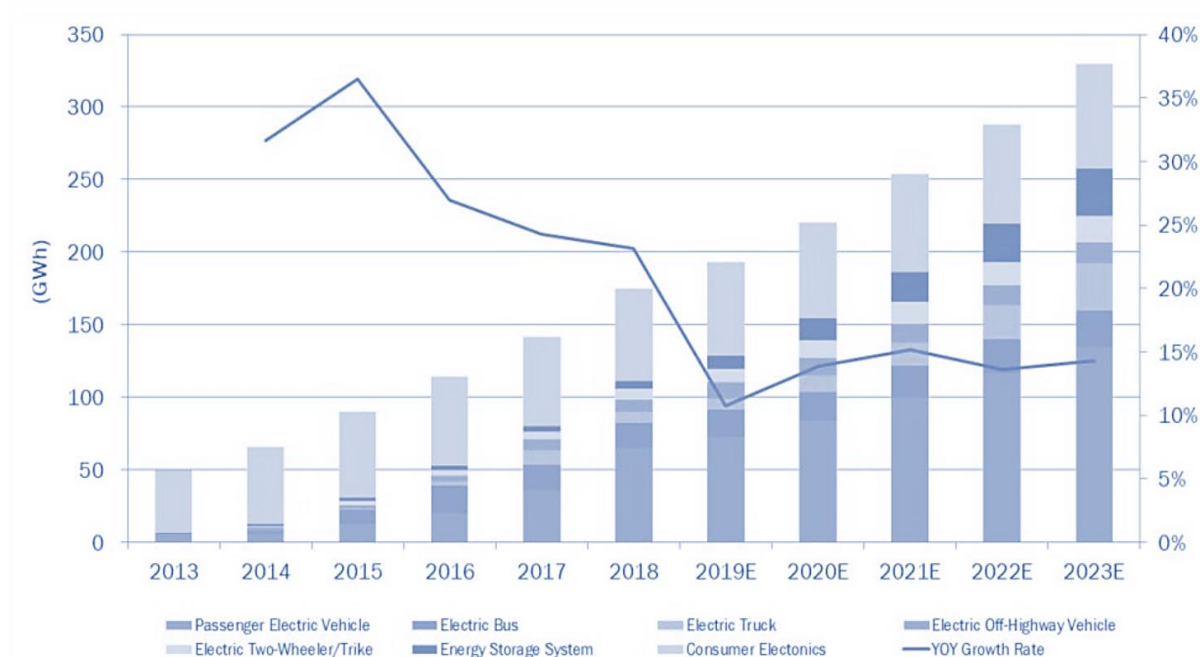


Figura 3.6: Global lithium-ion battery sales volume and growth rate split by application.

Fuente: (INTERACT ANALYSIS, 2019)

Como se puede ver, el sector transportes pasará a ser el más relevante en cuanto a la utilización de baterías de litio, con una cuota de mercado estimada para 2023 del 68%. Los turismos eléctricos acaparán gran parte de la demanda, pero también tendrán una parte importante de representación los autobuses y los camiones. También, fuera del ámbito de los transportes, llama la atención la importancia que ganarán las baterías estacionarias, destinadas al almacenamiento de electricidad, que gozarán de mayor popularidad para aplicaciones particulares y para uso industrial.

El mercado de las baterías de litio ha crecido a tasas de doble dígito desde 2013 y las expectativas prevén que siga siendo así, al menos hasta 2023. La tendencia alcista continuará debido a la rapidez con la que crecerá la demanda en Europa, especialmente la de baterías destinadas al almacenamiento de energía (INTERACT ANALYSIS, 2019). Estas baterías, de naturaleza estacionaria, prometen ser un gran impulso para el desarrollo de la industria de las energías renovables, al permitir que la electricidad producida se pueda consumir en el momento deseado en vez de en el instante en el que se genera.

Si atendemos a la capacidad de producir paquetes de baterías, existen cinco empresas que destacan sobre las demás: LG Chem, Contemporary Amperex Technology (CATL), BYD, Panasonic y Tesla. A continuación, repasaremos brevemente las características que definen a cada una de ellas.

No es la primera vez que mencionamos a LG Chem en esta investigación, y es que también tiene una gran presencia en la producción de componentes para celdas. Es una firma que ha invertido una gran

cantidad de recursos en expandir su capacidad de producción, poniendo en funcionamiento cinco nuevas megafactorías en los últimos tres años. Además, la mayoría de las fábricas ya existentes han sido objeto de ampliaciones, como es el caso de la situada en Michigan, donde la compañía fabrica baterías para modelos de Chevrolet y Chrysler. En Ochang, Corea del Sur, la factoría también cuenta con planes de expansión para atender a la demanda de fabricantes coreanos y japoneses. Las baterías del Nissan Leaf, el tercer coche eléctrico más vendido, se manufacturan en esa misma instalación. En total, LG Chem atesoraba una capacidad anual de 51 gWh hace poco más de un año (Benchmark Mineral Intelligence, 2019).

CATL se erige como el fabricante de origen chino más importante del sector. Su capacidad total es de aproximadamente 40 gWh anuales, lo que lo convierte en el segundo productor a nivel mundial. Al igual que LG Chem y otros de sus competidores, cuenta con ambiciosos planes de expansión que pasan por la apertura de nuevas fábricas en Alemania y Guangzhou, además de la ampliación de su planta principal en Ningde, China (Benchmark Mineral Intelligence, 2019). La discusión existente en torno a una supuesta inferioridad en la calidad de sus baterías respecto a sus competidores japoneses y coreanos no parece haber frenado sus planes de expansión, ni tampoco los contratos de colaboración con grandes empresas del sector de la automoción como el Grupo BMW, Geely (Volvo) Volkswagen, Toyota y otros fabricantes chinos (Bohsen, 2019).

BYD es el tercer productor de baterías mundial en cuanto a capacidad, también originario de China. El crecimiento de esta firma está focalizado en China, donde en 2018 comenzó a operar una nueva planta en la región de Qinghai, con la que duplicó su capacidad. Hay proyectadas dos nuevas fábricas en las ciudades chinas de Shaanxi y Chongqing, además de la ampliación de la ya existente en Shenzhen en 2023 (Benchmark Mineral Intelligence, 2019). Junto a Tesla, son los dos fabricantes de coches que más recursos han invertido en expandir verticalmente sus operaciones. Es una evidencia lógica si tenemos en cuenta que las baterías son el componente que mayor valor añadido aporta. De esta forma, ambas compañías acaparan el valor que se genera en esta etapa de la fabricación de los coches, lo que se traduce en un mayor margen a la hora de comercializar los vehículos. Al mismo tiempo, logran reducir el riesgo de sufrir problemas con el suministro de baterías.

Panasonic está fuertemente ligada a Tesla, dado que ambas compañías se unieron en una *joint-venture* para la fabricación de baterías. La capacidad de Panasonic como firma independiente es de 20,5 gWh, los cuales se suministran a otros productores como BMW o Toyota. Precisamente, Toyota, ha firmado recientemente la creación de una *joint-venture* con Panasonic, lo cual ayuda a reducir notablemente su dependencia con Tesla. Esta colaboración también tiene como objetivo la investigación y el desarrollo de las próximas generaciones de baterías. Para Toyota es una importante decisión estratégica, ya que

ha dedicado muchos recursos al desarrollo de los FCEV, quedándose rezagada en la tecnología relativa a los vehículos eléctricos. Más allá de la planta que Panasonic comparte con Tesla en Nevada, cuenta con varias plantas en Japón y una de nueva creación en Dalian, China, la cual se espera que pase a ser una de sus mayores fábricas (Bohsen, 2019).

Pese a quedar relegada a la quinta posición de este ránking, Tesla, con una producción anual estimada de 20GWh al año, cuenta, al cierre de 2018, con la planta de procesamiento de baterías con mayor capacidad del mundo: la factoría de Nevada, en EEUU. Los planes de la compañía pasan por lograr producir (de forma independiente) la totalidad de baterías necesarias para equipar sus vehículos. Para ello, se espera que la nueva instalación de Shanghai (denominada *gigafactory 3*), de la cual ya salen modelos de su línea de montaje, comience a suministrar baterías para los mismos en los próximos meses. En Europa, las previsiones más optimistas vislumbran que para 2021 empezará a funcionar la nueva fábrica de Berlín, que se encuentra en fase de construcción en estos momentos (Bohsen, 2019).

De cara a la producción de los vehículos, es habitual que las plantas de baterías se encuentren en un entorno próximo a la fábrica donde se ensamblan los coches. Esto es así porque se trata de un componente pesado, voluminoso y relativamente delicado, por lo que a menor distancia recorrida se reducen notablemente los costes y los riesgos asociados al transporte (Coffin, 2018).

Para concluir el capítulo de las baterías, resulta relevante señalar la consistente fuga de valor añadido que se está trasladando de la producción del motor de combustión hacia la manufactura de las baterías. Buena parte del valor total que genera un productor de automóviles radica en el desarrollo y producción de los motores de combustión que emplea en sus modelos, lo que está estimado en un 26% del valor del coche (M-Five, 2016). En los vehículos electrificados, el motor pierde gran parte de su protagonismo en favor de la batería, que puede llegar a representar hasta el 40% del valor total (Wollenberg, 2017). La problemática se sucede para aquellas firmas que apenas participan en el proceso de elaboración de las baterías, que pierden una parte importante de su capacidad para generar valor añadido, lo que se traduce en la obtención de peores resultados económicos. Este es el motivo de fondo por el cual hemos observado un claro posicionamiento estratégico en varias compañías, que se basa en la realización de una integración vertical hacia fases más tempranas de la cadena de valor, de forma independiente o mediante la colaboración con otras firmas del sector.

3.2 El motor eléctrico

Desde el punto de vista del consumidor, la elección del motor es clave a la hora de adquirir un automóvil de combustión interna. Las prestaciones y el consumo variarán significativamente en función del que elijamos, por lo que es necesario escoger el que más se adapte al uso habitual que vayamos a realizar. Trasladándonos al caso de los coches eléctricos, el protagonismo recae sobre las baterías. Esto es así porque se trata del componente que determina en mayor medida las prestaciones del producto. Pese a ello, el motor eléctrico también es una pieza importante en los BEV, ya que influye, si bien de forma menos notable, en el desempeño, el consumo y el precio que paga el consumidor final.

Desde el punto de vista de los fabricantes, adaptarse a la producción tanto de los motores eléctricos como de las baterías está suponiendo un hecho inédito. Un motor de combustión interna cuenta de media con aproximadamente 350 piezas, mientras que uno eléctrico requiere de un número menor de 25 por lo general (León, 2019). Esta sencillez es la responsable de que los motores eléctricos generen mucho menos valor añadido que los de combustión durante el proceso de fabricación de los vehículos.

Antes de continuar y para comprender mejor el proceso de fabricación en su conjunto, conviene aclarar que los productores pueden elegir entre dos posibles conceptos de diseño a la hora de desarrollar un vehículo eléctrico. Dependiendo de esta elección, la cadena de suministro necesaria para la producción se asemejará, en mayor o menor medida, a la de los coches tradicionales.

Por un lado, cuentan con la opción de conversión, que como su propio nombre indica, se basa en la utilización de una plataforma ya existente proveniente de un coche de combustión. Los elementos propios de esta tecnología se suprimen, implantando en su lugar la batería, el motor eléctrico y el resto de las piezas específicas de un vehículo eléctrico. De esta forma, las marcas consiguen lanzar el modelo más rápidamente al mercado, manteniendo unos costes de producción bajos que se nutren de la economía de escala resultante de utilizar partes de un ICE ya desarrollado. Este es el caso de modelos eléctricos como el Golf Electric o el Chevrolet Volt, populares en Europa y EEUU (Fessler, 2018).

La otra posibilidad consiste en desarrollar el vehículo desde cero, sin partir de ninguna plataforma previa. Esto quiere decir que no existe un restrictivo proceso productivo al que ceñirse. Frente a la opción de la conversión cuenta con la ventaja de ofrecer más flexibilidad a los ingenieros, permitiendo configurar una disposición y fisionomía de los componentes más adaptada. Esto también se traduce en una mejora del espacio interior. La principal desventaja es que su desarrollo entraña un alto nivel de costes (Fessler, 2018).

3.2.1 Tipología, composición y funcionamiento

Volviendo a las particularidades de los motores eléctricos observamos que, de la misma manera que sucede en los coches tradicionales, los vehículos electrificados pueden equipar motores de distinta tipología con diferentes cualidades.

En la actualidad, son los motores síncronos de imanes permanentes y los asíncronos (o de inducción) los que predominan en el mercado, si bien la mayoría de los fabricantes se decantan por la primera opción (Murias, 2018). Ambas tecnologías pertenecen a la familia de los motores de corriente alterna y están compuestos por tres elementos básicos: el rotor, el estator y una carcasa que los recubre. La velocidad de giro, el tipo de rotor y las fases de alimentación son las principales características que los diferencian, aunque ambos motores se basan en el mismo principio para transformar la energía eléctrica (suministrada por la batería) en movimiento (CLR, 2020).

A nivel técnico, los motores asíncronos son muy fiables y requieren de muy poco mantenimiento, aunque no llegan a ser tan eficientes ni tan potentes como los motores síncronos de imanes permanentes (Martínez Escudero, 2017).

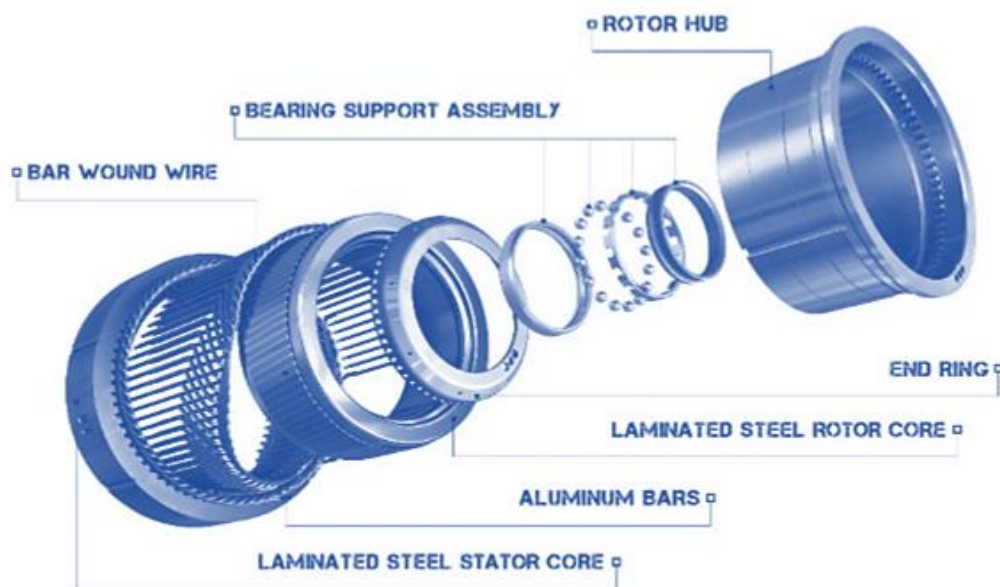


Figura 3.2.1: Motor asíncrono de corriente alterna

Fuente: (Martínez Escudero, 2017)

Tal y como nos ilustra la figura 3.2.1, las materias primas necesarias para la fabricación de este componente son, fundamentalmente, el aluminio, el cobre para el embobinado y el hierro para el cuerpo del rotor y del estator. Al contrario que en el caso de las baterías, las materias primas necesarias para

su fabricación son abundantes y su suministro no se ve amenazado por un reducido número de países productores.

El aluminio, si bien se ha comportado de forma volátil en las últimas décadas, cotiza en la actualidad lejos del máximo de 2.638 \$ por tonelada métrica establecido en 2007, justo antes de que su demanda se redujera drásticamente por la crisis económica. La producción aumentó un 52% en el periodo 2010-2018, impulsada por el interés por parte de China de reducir la dependencia exterior de este material, muy demandado por su industria. El transporte, junto a la construcción, son los dos sectores a los que más aluminio se destina; un 26% en ambos casos (Trefis , 2019).

Los precios del cobre se han mantenido más estables que en el caso del aluminio. El cobre se extrae en gran variedad de países a lo largo del globo, cada uno con una reducida cuota de mercado. En cualquier caso, Chile destaca excepcionalmente, colocándose como la primera potencia minera de cobre con una contribución del 32% sobre el total extraído. El transporte se establece como el tercer sector en el que más se emplea este mineral, un 14%, por detrás de la construcción (36%) y la industria (15%) (European Copper Institute, 2018).

El origen de la producción de acero es fuertemente desigual. China ostenta el liderazgo del mercado con un 49% de la manufactura total, sin embargo, el resto de la producción está muy repartida entre varias regiones. La UE (10%), Japón (6%), India (6%) y EEUU (5%), son las potencias con mayor producción siderúrgica después de China. En este caso, el sector de la automoción es el tercero más importante, ya que emplea el 13% de la producción mundial, solamente por detrás de la construcción (50%) y la maquinaria (16%) (Petroff, 2018). La evolución de los precios en los últimos años sigue un patrón parecido al del aluminio, por lo que es más bien volátil, si bien su valor de mercado actual se encuentra en torno a la media de la última década (Depreter, 2019).

Este análisis de mercado no solo nos resulta útil para el caso de los motores eléctricos. Estos tres metales también son intensivamente empleados en otros elementos de los BEV como el chasis (acero y/o aluminio), los paneles de la carrocería (acero o aluminio) o el cableado (cobre).

Como podemos observar en la figura 3.2.2, la arquitectura empleada en un motor de imanes permanentes es muy similar a la utilizada en uno asíncrono, a excepción de la inclusión de un juego de imanes.

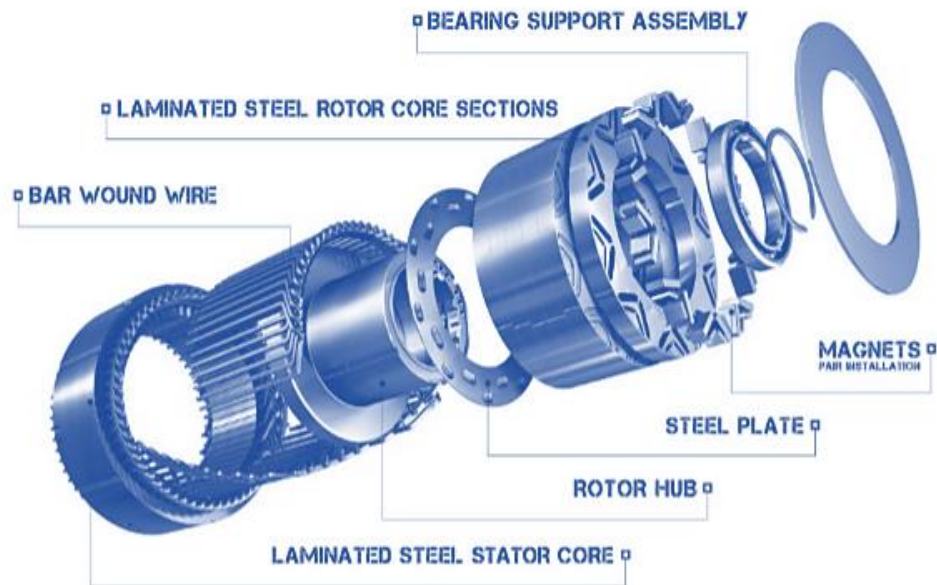


Figura 3.2.1: Motor síncrono de imanes permanentes

Fuente: (Martínez Escudero, 2017)

Se estima que el 93% de los BEV vendidos en 2018 equipaban motores síncronos (Els, 2019). Éstos son más ligeros y eficientes, pero cuentan con la desventaja de que sus imanes se construyen a partir de neodimio y otras tierras raras, que deben su nombre a su inusual presencia en estado puro en la naturaleza. Es más común encontrar estos elementos en otros minerales y principalmente en óxidos metálicos (Regueiro, 2019). Dependiendo del suministro de tierras raras para la construcción de los motores expone a la cadena de suministro a un elevado riesgo, dado que esta materia prima proviene de China en un 85% de los casos (Stafford, 2018).

Independientemente de la tecnología escogida para impulsar el vehículo, los motores eléctricos necesitan ser complementados por una unidad de control electrónica y un inversor. La energía de la batería no puede ser suministrada al motor directamente, sino que requiere de un dispositivo electrónico para adaptarla, el inversor. Gracias a este componente se consigue desarrollar una entrega de potencia segura, fiable y cómoda. La unidad de control es el “cerebro” del sistema de propulsión eléctrica. Gracias a ella, se gestiona electrónicamente el movimiento del coche “*en función de las señales recibidas desde el freno, el acelerador y otros sensores del vehículo*” (Martínez Escudero, 2017). Dentro de esta tarea, destaca la función de gestionar la frenada regenerativa, de forma que en las deceleraciones típicas de la conducción se hace funcionar al motor como generador. Con ello se logra aprovechar la energía cinética de la marcha, transformándola en energía eléctrica que se vierte en la batería para recargarla (Martínez Escudero, 2017).

3.2.2 La producción de los motores

A diferencia de las baterías, que son generalmente suministradas completa o parcialmente por proveedores externos, los motores eléctricos suelen ser desarrollados y fabricados por los propios productores de vehículos o en colaboración con otra compañía especializada (Murias, 2018). En cualquier caso, también existen ejemplos de empresas externas que se encargan de producir este componente.

Uno de los suministradores especializados con mayor perspectiva en el medio y corto plazo es Nidec. La compañía japonesa invertirá hasta 1.800.000.000 \$ en abrir nuevas factorías en China, Polonia y México. En Nidec consideran que con la movilización de estos recursos conseguirán aumentar su cuota de mercado hasta el 35%, centrándose en suministrar a los productores del mercado chino, donde podrían ofrecer precios hasta un 50% menores que el de sus competidores. Otros fabricantes japoneses como Hitachi han optado por colaborar directamente con las marcas, en este caso con Honda. También se han visto colaboraciones entre compañías dedicadas a la fabricación de componentes, como la acontecida entre Aisin Seiki (propiedad de Toyota) y Denso (Fukutomi, 2020).

La empresa surcoreana LG, que cuenta con una gran relevancia en el mercado de las baterías, también fabrica motores síncronos de imanes permanentes para automoción. Uno de los modelos eléctricos más populares de EEUU, el Chevrolet Volt, incluye este motor en su sistema de propulsión. No es de extrañar que General Motors elija a LG como suministrador de motores, ya que ambas empresas cuentan en la actualidad con una *joint-venture* para la fabricación de celdas para baterías (Fernández, 2019). Aquí, encontramos otro buen ejemplo de la relevancia de forjar relaciones estrechas con los proveedores de componentes estratégicos.

En Alemania son Siemens y Bosch los principales productores. Bosch, uno de los mayores suministradores de componentes para la industria del automóvil, se encarga de proveer motores a prestigiosos fabricantes como Daimler, Porsche, Fiat, Volvo o Peugeot (Jolley, 2019). Siemens cuenta con una gran experiencia en la fabricación de componentes de automóviles y motores eléctricos para diversos fines, lo que le ha permitido obtener una buena posición en el mercado con respecto a otros productores (Technavio, 2019). A pesar de que en Europa contamos con importantes suministradores, seguimos observando una clara superioridad por parte de compañías de origen asiático, lo cual es comprensible considerando que china es el país que más BEV demanda en el mercado.

Todavía existe un importante margen de mejora en el desempeño tanto de los motores síncronos como de los asíncronos. En el caso de los síncronos, las evoluciones se centrarán en la búsqueda de materiales alternativos a las costosas tierras raras, cuya producción está prácticamente monopolizada por China.

Como ya ha demostrado Tesla con sus actualizaciones de software a distancia (las denominadas *over the air*), las mejoras en la optimización del motor y de otros componentes se darán de forma regular una vez el vehículo haya abandonado la línea de montaje, de la misma manera que ocurre con las actualizaciones del sistema operativo de nuestros teléfonos móviles a lo largo de su vida útil. Otra de las posibles mejoras que se plantean es la incorporación al motor de una caja de cambios con varias marchas, tal y como ha sucedido con el recientemente presentado Porsche Taycan. Al agregar una o más velocidades, los ingenieros consiguen que el motor eléctrico trabaje a un régimen de revoluciones más eficiente según la velocidad a la que se circule, de forma similar a lo que ocurre en los coches convencionales. La utilización de materiales más ligeros y la mejora de la refrigeración (sobre todo cuando el motor eléctrico funciona a altas revoluciones) son también importantes áreas de mejora (Adams, 2018).

4. DISCUSIÓN

A continuación, se desarrollarán varias aclaraciones para enriquecer el análisis de las distintas temáticas que se han citado en este trabajo de investigación. Con ello, se busca ofrecer una aproximación complementaria al estudio previamente expuesto, que será especialmente reveladora y ayudará a que el lector obtenga una percepción más detallada de la situación que atraviesa el sector.

4.1 El liderazgo chino y la producción de autobuses eléctricos

Una de estas cuestiones es relativa al punto dos, donde se ha concluido que China es el país líder en ventas de vehículos electrificados. Esta afirmación es correcta siempre que atendamos nada más que a las cifras en valor absoluto. Sin embargo, buena parte de las ventas corresponden a berlinas pequeñas y utilitarios de marcas autóctonas con un tamaño muy reducido. Estos modelos cuentan con autonomías bajas y emplean tecnología más básica y acabados sencillos para conseguir un precio final asequible. Es aquí donde reside la principal objeción al liderazgo chino, y es que los vehículos eléctricos que se comercializan en ese país tienen un valor medio sustancialmente inferior al observado en EEUU y en los estados de la UE.

Para ilustrar este fenómeno usaremos la figura 2.8 como referencia. En ella observábamos que el Tesla Model 3 fue, en 2019, la berlina eléctrica más comercializada en todo el mundo con 300.000 unidades. Justo en segundo lugar se situaba un modelo de la división eléctrica de la compañía BAIC, el BJEV EU-Series EV, con 111.000 unidades comercializadas en total. Estos dos modelos son casi idénticos en tamaño, no así en prestaciones, siendo superior el Tesla. En lo relativo al precio, el modelo chino se comercializa por 129.900 ¥ mientras que el americano parte en China de los 299.050 ¥ en su versión más accesible, lo que trasladado a euros se traduce en una diferencia de más de 24.000 € (WattEV2Buy, 2020). Expresándola en un contexto más familiar, esta cifra se acerca al coste unitario medio de un automóvil nuevo en España, que en 2018 fue de 26.350 € (Statista Research Department, 2020).

Volviendo a la misma tabla, el cuarto modelo más popular fue el GM-Saic Baojun EV, fabricado por la *joint-venture* hina resultante entre General Motors y Saic. Este modelo triunfa en China con 60.000 unidades vendidas en el último ejercicio. Para encontrar un modelo exclusivamente urbano de características similares en Europa tenemos que escalar hasta la séptima posición de la tabla, donde se encuentra el Renault Zoe, del cual se comercializaron 48.000 unidades en 2019. El modelo francés no se comercializa en china y cuenta con unas dimensiones sensiblemente mayores para adaptarse a las preferencias de los consumidores en Europa, donde lo podemos encontrar por aproximadamente

32.000 € en su versión de acceso a la gama. Este valor resulta muy elevado si lo comparamos con los 14.325 € que cuesta adquirir el Baojun más alto de gama, el E200 (WattEV2Buy, 2020).

Dejando a un lado este fenómeno, China es el país con mayor nivel de ventas totales y de acuerdo con las previsiones así lo seguirá siendo. No obstante, podemos concluir afirmando que este liderazgo no es tan contundente si tenemos en cuenta el volumen de dinero que se invierte por vehículo respecto a otras regiones.

Pese a que en la presente investigación no se ha hecho referencia a otras modalidades de vehículos que no fueran turismos, consideramos conveniente atender brevemente al mercado de los autobuses eléctricos. En este campo, China se posiciona nuevamente como un país pionero en la adopción de la tecnología eléctrica, lo que está generando un importante impacto en el modelo de transporte público y en otros indicadores económicos.

En 2018, el stock global de autobuses eléctricos incrementó un 25% respecto al año anterior, alcanzando un total de 460.000 unidades en circulación. China domina holgadamente este mercado, pues es donde se comercializa el 99% de la producción, relegando a un segundo plano a los países de la UE; solamente 900 de los 98.000 vehículos adquiridos fueron registrados en Europa y en EEUU nos encontramos con poco más de 300 autobuses eléctricos en servicio. La infraestructura de recarga disponible para estos vehículos es un fiel reflejo de estas cifras, localizándose 153.000 de los 157.000 puntos de carga en China. (International Energy Agency , 2019). Shenzhen es la ciudad en la que se observa el mayor nivel de adopción de esta tecnología. Por sus calles prestan servicio más de 16.000 autobuses eléctricos de la flota pública gracias a la regulación y las ayudas tanto del gobierno municipal como del nacional. Otras fuerzas del cambio son los reducidos costes de mantenimiento y de funcionamiento, gracias a los cuales el coste total de propiedad es ya inferior al de sus homólogos de gasóleo. Shenzhen cuenta con la ventaja añadida de ser la ciudad en la que se establece BYD, principal fabricante de autobuses eléctricos, con lo que la cercanía al productor se convierte en otra de las ventajas (International Energy Agency , 2019).

Para concluir con este apartado complementario al capítulo dos, queda decir que el impacto que genera la utilización de esta alternativa de transporte no se limita a la reducción de emisiones, sino que también está dejando huella en la demanda mundial de gasoil. Se estima que con las unidades que se encuentran en circulación, el consumo de diésel se reduce en 230.000 barriles cada día (García, Los autobuses eléctricos y su impacto en la demanda mundial de petróleo, 2019).

4.2 El debate de las emisiones

A medida que el proceso de investigación avanzaba y aumentaba el número de referencias bibliográficas, comenzaba a quedar patente la existencia de un gran debate en torno a en qué magnitud los vehículos eléctricos generan un impacto menor en el medioambiente que los ICE. Hemos apreciado cierto nivel de arbitrariedad en diversos informes que se fijan como objetivo dar respuesta a esta cuestión. Esto es debido a la existencia de lobbies de presión a favor o en contra de la implantación de los BEV, lo que da lugar a investigaciones incompletas que solo tienen en cuenta los factores más favorables para apoyar cada causa. Para crear una perspectiva completa y consistente, que dé lugar a una conclusión propia, se han utilizado como referencia varios estudios de diversas fuentes que consideramos objetivos.

Pese a la disparidad encontrada, se han identificado dos factores comunes que son clave a la hora de enfrentarse a la hipótesis de si los BEV son o no, menos contaminantes.

El primero es el origen de la electricidad con la que se recargan los vehículos, y es que en función de lo limpio que sea el proceso de obtención de energía, observamos que el potencial de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero varía considerablemente (International Energy Agency , 2019). En la figura 4.2.1, podemos observar las emisiones directas e indirectas producidas por las principales fuentes de energía.

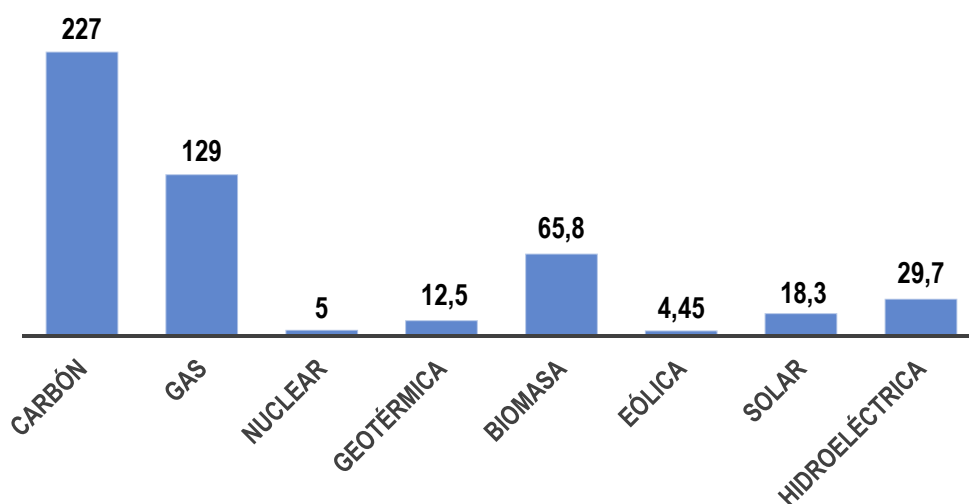


Figura 4.2.1: Kg de CO₂ emitidos por gigajulio en función de la fuente energética.

Fuente: elaboración propia a partir de datos de (Kountz, 2016).

En el caso del país con más vehículos eléctricos en circulación, China, el 70% de la electricidad producida en 2018 provenía de combustibles fósiles; un 67% de la combustión del carbón y el 3% restante del gas. Un 26% fue de origen solar, hidroeléctrico o eólico y el resto de la producción se obtuvo en centrales nucleares (China Energy Portal, 2019). Esta gran dependencia del carbón limita enormemente el alcance

de los beneficios de liderar la implantación del coche eléctrico. De hecho, compromete en gran medida que durante su ciclo de vida emita menos gases de efecto invernadero que su homólogo de combustión.

En la UE los BEV logran reducir de forma más eficaz la emisión de gases de efecto invernadero, ya que en 2018 solamente el 44% de la energía se obtuvo a base de combustibles fósiles, y lo que es más importante, el 33% de la producción provenía de energías renovables (European Commission, 2020). EEUU, el segundo país con mayor número de vehículos eléctricos en circulación, obtiene un 11% de su electricidad de fuentes renovables. Solamente el 11% de la electricidad producida proviene del carbón, y se recurre al petróleo y al gas natural en un 69% (U.S. Energy Information Administration, 2020). Si bien el grueso de su producción se obtiene a base de combustibles de origen fósil, la generación de energía a base de carbón es mucho más reducida que en China, lo que provoca que el impacto positivo de los vehículos electrificados sea mayor en comparación, aunque menor que para el caso de la UE.

El informe *Global EV Outlook 2019* del IEA concluye que ya en 2018 la flota global de vehículos eléctricos evitó la emisión de 40.000.000 de toneladas de CO₂. El estudio tiene en cuenta las fuentes de energía mayoritarias en cada región y compara las emisiones de coches eléctricos y convencionales en función del consumo medio y del segmento. Sobre el papel, este dato se traduce en que los gases se logran reducir a la mitad aproximadamente. Estas cifras coinciden con el informe de Dann Bakker de la Universidad de Utrecht, que sigue una metodología similar, pero con el foco puesto en Europa (Bakker, 2010). Los resultados del ICCT también se aproximan a los obtenidos en estas dos investigaciones, pero nos aporta una importante puntualización: la supuesta reducción del 50% en las emisiones durante la fase de uso de un BEV (estimada en 150.000 Km) está directamente correlacionada con el origen de la electricidad empleada. De esta forma, la disminución de gases puede fluctuar desde un escaso 28%, cuando se reposta energía eléctrica obtenida a partir de fuentes muy contaminantes, hasta un significativo 72%, en los casos en los que la electricidad utilizada sea de origen renovable (International Council of Clean Transportation, 2018). En cualquier caso, estas cifras deberían mejorar gradualmente si asumimos el cumplimiento de los programas energéticos de las regiones líderes. Ya en el decimotercer plan estratégico de 2015, China eliminó los incentivos a la construcción de nuevas plantas de carbón y fijó la meta de crear “un sistema energético bajo en emisiones, seguro y eficiente” (Zhongying, 2019). El sector de las energías renovables pasó a considerarse como una solución de largo plazo de vital importancia estratégica. Con todo, se estima que para 2050 solamente el 5% de la producción provenga del carbón, que será sustituido por electricidad proveniente de energías renovables en un 85% (Zhongying, 2019).

En los países de la UE, el objetivo es que para 2050 se alcance la neutralidad climática. Para ello, los fondos de cohesión serán de vital importancia, además de la creación del Banco Europeo del Clima y la

imposición de la primera ley europea del clima (Leyen, 2019). Los cambios en el sistema energético europeo son vitales para lograr el objetivo de la neutralidad climática. La utilización de energías renovables para 2030 se espera que sea del 50% (European Climate Foundation, 2010).

El segundo factor decisivo para comparar la huella ecológica de ambos trenes de potencia nos traslada a la etapa de producción. Es en esta fase donde los BEV resultan más contaminantes que los ICE, entendiendo por más contaminantes que emiten aproximadamente un 59% más de CO₂ (Qiao, 2016). Las baterías son el principal responsable de este fenómeno, ya que la extracción, el transporte y el refinado de las materias primas que las componen, junto al propio proceso de fabricación, son actividades que conllevan la generación de una gran cantidad de gases contaminantes. Se estima que el 50% de estas emisiones de CO₂ corresponden solamente a la obtención de la energía necesaria para llevar a cabo estas labores (International Council of Clean Transportation, 2018). Que China sea la región donde más baterías se fabrican guarda una estrecha relación con esta estimación, puesto que, como ya se ha comentado, gran parte de su electricidad se obtiene a base de carbón.

El reciclaje de las baterías también supone una problemática en términos económicos y medioambientales. Los integrantes químicos que las componen son altamente contaminantes y cuentan con el riesgo de ocasionar una explosión. A día de hoy, no existe un tejido industrial lo suficientemente desarrollado como para satisfacer la demanda que surgirá a medida que se vayan retirando de la circulación los BEV más longevos. Ante este fenómeno, se plantean dos posibles opciones. Por un lado, el reciclaje en sí mismo, que podría ser factible siempre que las materias primas que componen las baterías coticen a un elevado precio en el mercado. Esta condición es necesaria para compensar así la costosa inversión derivada del desensamble de la batería, que requiere de muchas horas de trabajo y altas medidas de seguridad (Calma, 2019). La otra vía posible, que potencia la reducción de su impacto medioambiental, consiste en darles una segunda vida. A priori, esta opción puede parecer más atractiva al requerir de una menor inversión y poder generar beneficios mayores (Ambrose, 2020). Al final de la vida útil de un vehículo electrificado, la batería puede estar ofreciendo en torno al 50% o incluso el 80% de su capacidad original, lo cual puede parecer escaso para cubrir las necesidades de un nuevo vehículo, pero abre las puertas a darle nuevos usos alternativos (M-Five, 2016). Compañías como Renault las están utilizando para suministrar electricidad a ascensores en caso de cortes en el suministro. General Motors las reutiliza con la misma finalidad en su centro de datos en Michigan y en Japón Nissan las emplea en el alumbrado público. Uno de los fines que más está dando que hablar es su reutilización como medio de almacenaje, con lo que se aprovechan los excesos de producción en fuentes de energía renovable. De esta forma, se puede disponer de electricidad en momentos en los que no sea posible generar este recurso, por ejemplo, en el caso de los paneles solares, por la noche. Una ventaja de

emplearlas para este uso es que aporta flexibilidad, pues puede instalarse en domicilios privados con lo que se consigue la autosuficiencia energética, o bien en grandes instalaciones de generación de energía de forma que se pueda gestionar su uso en la red en el momento más adecuado (Institute for Energy Research (IER), 2019).

Tal y como avanzábamos, no existe un acuerdo generalizado sobre en qué medida ni cómo se deberían comparar las emisiones que se producen a lo largo de los procesos de las cadenas de valor y de suministro, así como a las producidas a lo largo de la vida útil del automóvil y durante su reciclaje. En gran parte, esto se debe a la diversidad de aproximaciones y asunciones desde las cuales se pueden partir para obtener unos resultados consistentes. Otro factor que obstaculiza el consenso reside en la complejidad de medir variables que son de carácter intangible o difícilmente cuantificables. Hablamos de procesos como la extracción y el transporte de materias primas o de externalidades positivas como la reducción de la contaminación acústica o la mejora de la salud de la población.

Lo que sí podemos sacar en conclusión tras guiarnos por los estudios más completos y objetivos, es que los BEV son menos contaminantes si tenemos en cuenta su ciclo de vida completo. Con esto hacemos referencia a todo el espacio temporal que abarca desde la extracción de las materias primas necesarias para la fabricación hasta el reciclaje al final de su vida útil. El origen de la energía utilizada durante cada una de estas fases es un factor decisivo a la hora de calcular al alza o a la baja las emisiones de gases de efecto invernadero producidas.

4.3 La irrupción del SARS-CoV-2

En la fase final de la redacción de esta investigación, la pandemia global provocada por la enfermedad infecciosa COVID-19 comenzaba a comprometer seriamente la economía mundial. El impacto observado afecta con especial firmeza al sector turístico y al transporte.

A medida que se extendía el virus, la producción de vehículos comenzó a detenerse o a ralentizarse en prácticamente la totalidad de las factorías, especialmente en aquellas situadas en las regiones más afectadas. En Europa, se estima que hasta mayo de 2020 se han dejado de producir un total de 2.435.824 unidades tras haber parado la producción una media de 30 días laborables. España, Italia y Reino Unido son los países más afectados con hasta 41 días de paro, mientras que Suecia, Hungría y Eslovaquia no han cesado la producción más de 25 días (European Automobile Manufacturers Association, 2020). Durante los meses más complicados de la pandemia en China, la reducción de las ventas en comparación con 2019 fue de entre el 43% y el 79%, cercano a la media registrada en EEUU con un

50% de descenso estimado (Madhok, 2020). En cualquier caso, el parón productivo ha obedecido más a un razonamiento sanitario que a una respuesta estratégica ante la drástica reducción de la demanda. La prioridad ha sido evitar el contagio de trabajadores y en la mayoría de los casos incluso ha supuesto norma de obligado cumplimiento que impusieron los países más afectados.

En comparación con la crisis financiera iniciada en 2006, la mayoría de los analistas coinciden en que este *shock* económico será más pronunciado en el corto plazo, si bien menos persistente en el tiempo. Sin embargo, lo verdaderamente importante para esta investigación es aclarar en qué lugar quedan las predicciones realizadas en el punto dos.

Pese a que el escenario económico no parezca alentador, lo cierto es que esta disminución inesperada de la demanda no va a tener un efecto tan acusado en el mercado de los vehículos electrificados. En el caso de China este imprevisto se ha saldado con la prórroga de dos años extra para los subsidios a este tipo de automóviles, que deberían haber terminado el 31 de diciembre de 2019. También se mantendrá la exención del pago del impuesto a la venta, lo que supone un 10% del valor del vehículo (Bloomberg, 2020). Se espera que, gracias a la adopción de estas medidas, China recupere el liderato del mercado, el cual le ha arrebatado virtualmente Europa al cierre del primer cuatrimestre del presente año (Weiss, 2020).

Uno de los fenómenos más destacables durante esta crisis es que el mercado de los vehículos eléctricos está acusando una menor caída, en proporción, que el de los ICE, lo cual se materializa en las nuevas previsiones para este año, que anuncian una reducción del 18% en las ventas de BEV y del 23% para los coches tradicionales. De cumplirse estas cifras, la cuota de mercado de los coches electrificados aumentaría pese a la reducción de las ventas totales con respecto a 2019 (Henze, 2020).

Tras revisar las fuentes bibliográficas consultadas en este apartado, la conclusión es que la inestabilidad generada por la pandemia modificará las cifras anunciadas en el punto dos, a lo sumo, durante los próximos tres años. Guiándonos por los últimos datos recabados, la desviación de nuestras previsiones se modificará a la baja a excepción de la cuota de mercado de los vehículos electrificados, que sería mayor. La variabilidad de estos pronósticos quedará ligada a posibles rebrotes del virus, que podrían llevar a nuevos episodios de confinamiento que hundirían la demanda. Los paquetes de ayuda para reactivar la actividad del mercado serán también decisivos para mejorar estos datos, lo que dependerá de la cuantía y magnitud de los mismos.

4.4 Limitaciones de la investigación

Pese a que durante la investigación se ha pretendido informar de otras cuestiones asociadas a la producción y al mercado de los BEV, lo cierto es que hay multitud de factores que merecen ser estudiados en profundidad dada su relevancia. Este es el caso de las regulaciones técnicas y los estándares, como el citado WLTP, que, pese a no haber sido estudiados en profundidad, atesoran un papel trascendental a la hora de impulsar el desarrollo y la implantación de los vehículos eléctricos de forma armoniosa y segura. Una de las instituciones más reconocidas por promover y asesorar en esta materia es la Comisión Económica de Las Naciones Unidas para Europa (UNECE por sus siglas en inglés). La UNECE es responsable de los estándares técnicos en la UE, Japón, Corea del Sur y otros mercados de carácter relevante (Freshfields Bruckhaus Deringer, 2019).

También han sido prácticamente omitidas las otras tres dimensiones fundamentales del cambio de paradigma en la industria; la conducción autónoma, la conectividad y los nuevos servicios de movilidad. Estas tres ramas se encuentran en plena expansión y junto a la transición eléctrica comparten características y se interrelacionan debido a su naturaleza. Por tanto, sería interesante que surgieran investigaciones que arrojaran un poco de luz sobre su desarrollo conjunto y lo que se puede esperar del de la movilidad teniendo en cuenta la irrupción de estos cuatro pilares que serán la base de la movilidad del futuro.

5. CONCLUSIONES

El año previo a la aparición del Tesla Roadster, en 2007, Apple presentaba el iPhone 2G, un teléfono que marcó un punto de inflexión en la industria de la telefonía móvil. En menos de quince años, la adopción de lo que hoy conocemos como smartphone ha sido masiva. Este dispositivo nos permite acceder a una gran red de servicios que abarca prácticamente cada sector, todo ello de forma económica y completamente portátil. Las posibilidades que brinda a los agentes económicos son prácticamente infinitas.

El paralelismo entre esta revolución tecnológica y el cambio de paradigma en la industria del automóvil es evidente. Adicionalmente, este sector afronta la transición estudiada en la presente investigación, que plantea un modelo más respetuoso con el medioambiente y la salud humana. La principal divergencia entre ambos casos reside en que la flota global de automóviles tardará más en ser mayoritariamente eléctrica. Este hecho resulta lógico si tenemos en cuenta que el precio de los automóviles es sustancialmente superior en comparación con los smartphones. Además, cuentan con una vida útil más longeva, por lo cual los coches se renuevan con menor regularidad a la de los teléfonos móviles. Pese a ello, la tendencia resulta imparable, y si bien se tardarán décadas en lograr una adopción masiva, la primera piedra ya está puesta sobre el camino.

Al término de esta investigación, queda patente que el cambio en el marco productivo y en la demanda del mercado se encuentra en plena ebullición, lo que está generando grandes oportunidades de negocio en las diferentes etapas de la cadena de valor de los nuevos componentes, así como en la cadena de suministros necesaria para su fabricación. Tal y como hemos observado, estas oportunidades se están aprovechando mayoritariamente en China, Japón y Corea del Sur, países que atesoran una gran relevancia en múltiples etapas del proceso productivo de los BEV.

El mercado muestra interés por adquirir vehículos electrificados, si bien el precio, la autonomía y la escasa infraestructura de recarga, siguen representando las principales barreras de los consumidores para apostar por este tipo de movilidad individual más sostenible.

La velocidad con la que se adopte en los próximos años esta nueva tecnología dependerá fundamentalmente de las baterías; de la velocidad con la que disminuya su coste y del desarrollo de nuevas variantes cuyo objetivo será el de mejorar la autonomía, el rendimiento y frenar la dependencia de metales costosos y escasos para su producción.

Las adquisiciones, las fusiones y las joint-ventures, seguirán siendo habituales en la industria con el fin de concentrar recursos para hacer frente a las elevadas inversiones necesarias para generar valor en el proceso productivo de los vehículos electrificados.

Por último, será de vital importancia prestar atención al impacto que los vehículos electrificados ya provocan en la generación de electricidad global. La demanda de energía crecerá sustancialmente y de nada serviría que esta electricidad proviniera de fuentes altamente contaminantes, ya que el potencial de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero durante el ciclo de vida de un coche eléctrico disminuiría drásticamente. En este sentido, los gobiernos nacionales y las instituciones internacionales no solamente cuentan con el papel de incentivar la compra con el uso de instrumentos de regulación y restricciones de circulación, sino que también es recomendable que estimulen fervientemente la transición hacia un modelo energético neutro en emisiones de CO₂.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Actualidad Motor. (2015). *Dieselgate*. Obtenido de Actualidad Motor: <https://www.actualidadmotor.com/tag/dieselgate/>
- Adams, E. (2018). *The Secrets of Electric Cars and Their Motors: It's Not All About the Battery, Folks*. Obtenido de The Drive: <https://www.thedrive.com/tech/17505/the-secrets-of-electric-cars-and-their-motors-its-not-all-about-the-battery-folks>
- Alaniz, A. (2019). VW Groups Vows To Launch 75 EVs, 60 Hybrids By 2029. *Auto 1*.
- Amaya, Á. P. (2020). *Deja de pensar en el coche eléctrico: El hidrógeno es el combustible del futuro y así lo confirma este estudio*. Obtenido de Autonoción : <https://www.autonocion.com/deja-de-pensar-en-el-coche-electrico-el-hidrogeno-es-el-combustible-del-futuro-segun-este-estudio/>
- Ambrose, H. (2020). *Quick Guide To EV Battery Reuse & Recycling*. Obtenido de Clean Technica: <https://cleantechnica.com/2020/03/06/quick-guide-to-ev-battery-reuse-recycling/>
- Asciación Valenciana del Vehículo Eléctrico (AVVE). (2018). *¿Cómo es la batería de un coche eléctrico?* Obtenido de <https://www.avve.info/como-es-la-bateria-de-un-coche-electrico/>
- Aurbach, J. W. (2016). Promise and reality of post-lithium-ion batteries with high energy densities. *Nature*.
- Bakker, D. (2010). *Battery Electric Vehicles, Performance, CO2 emissions, lifecycle costs and advanced battery technology development*. Obtenido de www.emic-bg.org/files/files/Battery_Electric_Vehicles.pdf
- Battery University. (2019). *BU-205: Types of Lithium-ion*.
- Benchmark Mineral Intelligence. (2019). *WHO IS WINNING THE GLOBAL LITHIUM ION BATTERY ARMS RACE?* Obtenido de Benchmark Mineral Intelligence: <https://www.benchmarkminerals.com/who-is-winning-the-global-lithium-ion-battery-arms-race/>
- Bloomberg. (2019). *The World's Biggest Electric Vehicle Company Looks Nothing Like Tesla*. Retrieved from <https://www.bloomberg.com/news/features/2019-04-16/the-world-s-biggest-electric-vehicle-company-looks-nothing-like-tesla>
- Bloomberg. (2020). *How the Virus Can Stall China's Electric Vehicle Plan*. Obtenido de <https://www.bloombergquint.com/quicktakes/how-the-virus-can-stall-china-s-electric-vehicle-plan-quicktake>
- Bloomberg NEF. (2019). *Battery Pack Prices Fall As Market Ramps Up With Market Average At \$156/kWh In 2019*. Retrieved from Bloomberg NEF: <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-fall-as-market-ramps-up-with-market-average-at-156-kwh-in-2019/?sf113554299=1>
- Bohsen, M. (2019). *A Look At The Top 5 Lithium-Ion Battery Manufacturers In 2019*. Obtenido de Seeking Alpha: <https://seekingalpha.com/article/4289626-look-top-5-lithium-ion-battery-manufacturers-in-2019>
- Burns, M. (2020). Top 5 Challenges Automotive Industry Will Face In The 2020s. *Digitalist*.
- Calma, J. (2019). *The electric vehicle industry needs to figure out its battery problem*. Obtenido de The Verge: <https://www.theverge.com/2019/11/6/20951807/electric-vehicles-battery-recycling>
- China Energy Portal. (2019). *2018 electricity & other energy statistics*. Obtenido de <https://chinaenergyportal.org/en/2018-electricity-other-energy-statistics/>
- CLR. (2020). *Motores de corriente continua y alterna: estudio y selección*. Obtenido de <https://clr.es/blog/es/motores-corriente-continua-alterna-seleccion/>
- Coffin, D. ,. (2018). *The Supply Chain for Electric Vehicle Batteries*. United States International Trade Commission.

- Comisión Europea. (2011). *Libro Blanco del transporte*. Obtenido de https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/strategies/doc/2011_white_paper/white-paper-illustrated-brochure_es.pdf
- Cordero, D. (2020). *Los concesionarios se lanzan a las rebajas*. Obtenido de El País: <https://elpais.com/economia/2020-05-21/los-concesionarios-se-lanzan-a-las-rebajas.html>
- Deloitte. (2018). *Global automotive consumer study*. Retrieved from https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/consumer-business/2018_GACS_Data%20Deck_Germany.pdf
- Deloitte. (2019). *Battery electric vehicles*. Retrieved from <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/uk/Documents/manufacturing/deloitte-uk-battery-electric-vehicles.pdf>
- Depreter, M. (2019). *STEEL SECTOR : VERY LOW PRICES HITTING COMPANY MARGINS*. Obtenido de Credendo: <https://www.credendo.com/country-risk-monthly/steel-sector-very-low-prices-hitting-company-margins>
- Dougher, C. (2018). *BREAKING DOWN THE LITHIUM-ION CELL MANUFACTURING SUPPLY CHAIN IN THE U.S. TO IDENTIFY KEY BARRIERS TO GROWTH*. Obtenido de <https://dukespace.lib.duke.edu/dspace/bitstream/handle/10161/16600/US%20Lithium%20Ion%20Cell%20Manufacturing%20Supply%20Chain.pdf?sequence=1>
- Duff, M. (2019). The Lotus Evija Is a Lean, Mean Electric Hypercar Debuting on July 16. *Car and Driver*.
- Els, P. (2019). *Automotive IQ Guides: EV electric motors*. Obtenido de Automotive Iq: <https://www.automotive-iq.com/electrics-electronics/articles/auto-iq-guides-ev-electric-motors>
- Epica Mandal Sarkar, T. S. (2018). *Lithium-ion battery supply chain: enabling national electric vehicle and renewables targets*. Obtenido de Currentscience: <https://www.currentscience.ac.in/Volumes/114/12/2453.pdf>
- European Automobiles Manufacturers Association. (2020). *Interactive map: Production impact of COVID-19 on the European auto industry*. Obtenido de <https://www.acea.be/news/article/interactive-map-production-impact-of-covid-19-on-the-european-auto-industry>
- European Climate Foundation. (2010). *Power Perspectives 2030*. Obtenido de https://www.roadmap2050.eu/attachments/files/PowerPerspectives2030_FullReport.pdf
- European Commission. (2012). *Driving and parking patterns of European car drivers*.
- European Commission. (2020). *Shedding light on energy in the EU*. Obtenido de <https://ec.europa.eu/eurostat/cache/infographs/energy/index.html>
- European Copper Institute. (2018). *The structure of Europe's copper industry*. Obtenido de Copper Alliance: <https://copperalliance.eu/about-us/europes-copper-industry/>
- EV-Volumes. (2020). *EV-Volumes*. Retrieved from <http://www.ev-volumes.com/>
- Fernández, A. (2019). *General Motors y LG Chem producirán celdas de batería para coches eléctricos*. Obtenido de Motor.es: <https://www.motor.es/noticias/general-motors-lg-chem-baterias-coches-electricos-201963226.html>
- Fessler, D. (2018). *How the Switch to EVs Is Causing Problems for Carmakers*. Obtenido de <https://profitrends.com/energy-investing/electric-vehicles/electric-vehicles-disrupting-the-automotive-supply-chain/>
- Freshfields Bruckhaus Deringer. (2019). *EV regulation: new initiatives on safety and charging infrastructure*. Obtenido de <https://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=48cf947d-b2f0-4e94-ba79-a435fdce5c34>

- Fukutomi, S. (2020). *Nidec aims to disrupt global EV supply chain with cheaper motors*. Obtenido de Asian Review: <https://asia.nikkei.com/Business/Electronics/Nidec-aims-to-disrupt-global-EV-supply-chain-with-cheaper-motors>
- García, G. (2018). *¿Qué componentes tiene un coche eléctrico? El motor, el inversor y el cargador de LG*. Obtenido de Híbridos y Eléctricos: <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/tecnologia/componentes-tiene-coche-electrico-motor-inversor-cargador-lg/20180712190152020477.html>
- García, G. (2019). *Los autobuses eléctricos y su impacto en la demanda mundial de petróleo*. Obtenido de Híbridos y Eléctricos: <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/sector/autobuses-electricos-chinos-estan-reduciendo-demanda-mundial-petroleo/20190321112613026478.html>
- George J. Simandl, S. P. (2015). *Graphite deposit types, their origin, and economic significance*. Obtenido de Research Gate: https://www.researchgate.net/profile/George_Simandl/publication/288833915_Graphite_deposit_types_their_origin_and_economic_significance/links/57969f6008ae33e89fad8add/Graphite-deposit-types-their-origin-and-economic-significance.pdf
- Gutiérrez, D. (2020). *BTET: así se llama la nueva marca de coches eléctricos de Toyota y BYD*. Obtenido de Híbridos y eléctricos : <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/btet-nueva-marca-coches-electricos-toyota-byd/20200403172604034268.html>
- Halvorson, B. (2019). *Electric-car battery prices dropped 13% in 2019, will reach \$100/kwh in 2023*. Retrieved from Green Car Reports: https://www.greencarreports.com/news/1126308_electric-car-battery-prices-dropped-13-in-2019-will-reach-100-kwh-in-2023
- Hampel, C. (2020). *Turkey details national electric car project*. Retrieved from Electrive : <https://www.electrive.com/2019/05/28/turkey-prototype-for-national-electric-car-project-announced/>
- Henze, V. (2020). *Electric Vehicle Sales to Fall 18% in 2020 but Long-term Prospects Remain Undimmed*. Obtenido de Bloomberg NEF: <https://about.bnef.com/blog/electric-vehicle-sales-to-fall-18-in-2020-but-long-term-prospects-remain-undimmed/>
- Institute for Energy Research (IER). (2019). *The Afterlife of Electric Vehicles: Battery Recycling and Repurposing*. Obtenido de https://www.instituteforenergyresearch.org/renewable/the-afterlife-of-electric-vehicles-battery-recycling-and-repurposing/?__cf_chl_captcha_tk__=240c81479867221060f3138d0faf7d99f0441a63-1590061169-0-Af3dl0eosa5dV2f0gZOHXennE4gAksC7E5S015ssOH1IFUoX1CQsy53j
- INTERACT ANALYSIS. (2019). *Europe expected to be fastest-growing market for lithium-ion batteries*. Obtenido de Control Engineering: <https://www.controleng.com/articles/europe-expected-to-be-fastest-growing-market-for-lithium-ion-batteries/>
- International Council of Clean Transportation (ICCT). (2017). *Light-duty vehicle greenhouse gas and fuel economy standards*. Retrieved from https://theicct.org/sites/default/files/publications/2017-Global-LDV-Standards-Update_ICCT-Report_23062017_vF.pdf
- International Council of Clean Transportation. (2018). *Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions*. Obtenido de https://theicct.org/sites/default/files/publications/EV-life-cycle-GHG_ICCT-Briefing_09022018_vF.pdf
- International Energy Agency . (2019). *Global EV Outlook 2019*. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019>
- International Energy Agency. (2017). *World Energy Outlook 2017: China*. Obtenido de IEA: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2017-china>
- Jasper, J. (2019). 2020 set to be year of the electric car. *The Guardian*.

- Jessica Shankleman, T. B. (2017). *We're Going to Need More Lithium*. Retrieved from Bloomberg Bussinesweek: <https://www.bloomberg.com/graphics/2017-lithium-battery-future/>
- JOHANSSON, T. G. (2015). *Comparison between Battery Electric Vehicles and Internal Combustion Engine Vehicles fueled by Electrofuels*. Retrieved from <https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/218621/218621.pdf>
- Jolley, D. (2019). *DAIMLER, VW, ZF, BOSCH EXPAND E-PLANTS AS ELECTRIFICATION PUSH INTENSIFIES*. Obtenido de Automotive News Europe: <https://europe.autonews.com/e-car-and-component-map-europe>
- Kountz, E. (2016). *Cost and CO2 Emissions from Generating Electricity*. Obtenido de <http://large.stanford.edu/courses/2016/ph240/kountz1/>
- Learn Engineering. (2019). *Batería de iones de litio, ¿Cómo funciona?* Obtenido de Learn Engineering: <https://www.youtube.com/watch?v=ydCfLFJqaBw>
- Lebedeva, F. D.-B. (2016). *Lithium ion battery value chain and related opportunities for Europe*. Obtenido de European Commission: https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/jrc105010_161214_li-ion_battery_value_chain_jrc105010.pdf
- León, E. (2019). *¿Cuáles son las piezas de un motor de coche?* Obtenido de Auto Bild: <https://www.autobild.es/practicos/cuales-son-piezas-motor-coche-494409>
- Leyen, U. v. (2019). *POLITICAL GUIDELINES FOR THE NEXT EUROPEAN COMMISSION 2019-2024*. Obtenido de https://ec.europa.eu/commission/sites/beta-political/files/political-guidelines-next-commission_en.pdf
- Liu, C. (2017). *The evolutionary dynamics of China's electric vehicle industry – Taxes vs. subsidies*. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360835217303856?via%3Dihub>
- Madhok, A. (2020). *Weekly Update: COVID-19 Impact On Global Automotive Industry*. Obtenido de <https://www.counterpointresearch.com/weekly-updates-covid-19-impact-global-automotive-industry/>
- Martínez Escudero, M. A. (2017). *Propulsión en vehículos eléctricos*. Obtenido de Universidad de Valladolid: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/25504/TFG-P-630.pdf;jsessionid=FD70C63D0F22F761740E1D81FC0B7451?sequence=1>
- M-Five. (2016). *Analysis of the battery value chains with regard to the German industry and the global context*. Retrieved from https://www.m-five.de/pdf/M_Five_Battery_Value_Chain_in_GER_160703_FINAL.pdf
- Murias, D. (2018). *Los motores son también clave en el desarrollo del coche eléctrico: no todo es cuestión de baterías*. Obtenido de <https://www.motorpasion.com/tecnologia/los-motores-son-tambien-clave-en-el-desarrollo-del-coche-electrico-no-todo-es-cuestion-de-baterias>
- Nicolò Campagnol, J. E. (2018). *Metal mining constraints on the electric mobility horizon*. Obtenido de McKinsey & Company: <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/metal-mining-constraints-on-the-electric-mobility-horizon>
- Parlamento Europeo. (2019). *Emisiones de CO2 de los coches: hechos y cifras*. Obtenido de https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2019/3/story/20190313STO31218/20190313STO31218_es.pdf
- Petroff, A. (2018). *The global steel industry by the numbers*. Obtenido de CNN Bussines : <https://money.cnn.com/2018/03/02/news/economy/steel-industry-statistics-us-china-canada/index.html>
- PILLOT, C. (2019). *The Rechargeable Battery Market and Main Trends 2018-2030*. Obtenido de <https://www.bpifrance.fr/content/download/76854/831358/file/02%20-%20Presentation%20Avicenne%20-%20Christophe%20Pillot%20-%2028%20Mai%202019.pdf>

- Qiao, Q. (2016). *Comparative study on life cycle CO2 emissions from the production of electric and conventional vehicles in China*. Elsevier.
- Regueiro, M. (2019). *¿Qué son las tierras raras?* Obtenido de <https://www.icog.es/TyT/index.php/2019/05/que-son-las-tierras-raras/>
- Reports and Data. (2019). *Cathode Materials Market By Battery Type (Lead-Acid, Lithium-Ion, and Others), By Material (Lithium Iron Phosphate, Lithium Cobalt Oxide, Lithium-Nickel Manganese Cobalt, Lead Dioxide, and Others), And By End-Use Industry (Automotive, Consumer Electronics)*. Obtenido de Reports and Data: <https://www.reportsanddata.com/report-detail/cathode-materials-market>
- Research and Markets. (2019). *Future Mobility: Electric Vehicle Supply Chain Architecture*. Dublín: Research and Markets.
- Salehen, P. S. (2017). *Development of battery management systems (BMS) for electric vehicles (EVs) in Malaysia*. Obtenido de ResearchGate: https://www.researchgate.net/profile/Mohd_Suait/publication/311777982_Development_of_battery_management_systems_BMS_for_electric_vehicles_EVs_in_Malaysia/links/5bed639792851c6b27c0d1cf/Development-of-battery-management-systems-BMS-for-electric-vehicles-EV
- Sánchez, J. (2020). Volkswagen invertirá 50.000 millones de euros para desarrollar y producir baterías. *El Mundo*.
- Seeking Alpha. (2017). *Where The Money Is In The Electric Vehicle Supply Chain*. Retrieved from <https://seekingalpha.com/article/4111150-where-money-is-in-electric-vehicle-supply-chain-part-i>
- Stafford, B. (2018). *The Materials Really Driving The EV Industry*. Obtenido de Mat Match: <https://matmatch.com/blog/materials-for-electric-vehicles/>
- Statista Research Department. (2020). *EU car sales: average prices in 2014-2018, by country*. Obtenido de <https://www.statista.com/statistics/425095/eu-car-sales-average-prices-in-by-country/>
- Talbot, J. A. (2015). *The history and development of batteries*. Retrieved from <https://phys.org/pdf349604941.pdf>
- Technavio. (2019). *Top 20 Electric Motor Manufacturers in the World 2019*. Obtenido de <https://blog.technavio.com/blog/top-20-electric-motor-companies>
- Trefis . (2019). *Aluminum Prices: 15-Year Price Analysis And Production-Demand-GDP Dynamics*. Obtenido de Forbes: <https://www.forbes.com/sites/greatspeculations/2019/11/05/aluminum-prices-15-year-price-analysis-and-production-demand-gdp-dynamics/#6334a411dadb>
- Tribunal de Cuentas Europeo. (2018). *Air pollution: Our health still insufficiently protected*. Retrieved from https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR18_23/SR_AIR_QUALITY_ES.pdf
- U.S. Department of Energy, AFDC. (2019). *How Do All-Electric Cars Work?* Retrieved from <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-electric-cars-work>
- U.S. Energy Information Administration. (2020). *U.S. energy facts explained*. Obtenido de <https://www.eia.gov/energyexplained/us-energy-facts/>
- UBS. (2019). *Longer term investments, Smart mobility*. Retrieved from <https://www.ubs.com/content/dam/WealthManagementAmericas/documents/smart-mobility-11-march.pdf>
- University of Eastern Finland. (2017). *Silicon solves problems for next-generation battery technology*. Obtenido de Phys.org: <https://phys.org/news/2017-08-silicon-problems-next-generation-battery-technology.html>
- Vynakov, O. F. (2016). *MODERN ELECTRIC CARS OF TESLA MOTORS COMPANY*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/307551419_MODERN_ELECTRIC_CARS_OF_TESLA_MOTORS_COMPANY

- WattEV2Buy. (2020). *WattEV2Buy*. Obtenido de <https://wattEV2buy.com/electric-vehicles/baic/baic-eu5-ev-specs-range-price-battery-charge-time/>
- Weiss, R. (2020). *Europe Beats China in Electric Vehicle Sales, Study Shows*. Obtenido de Bloomberg: <https://www.bloombergquint.com/global-economics/europe-beats-china-in-electric-vehicle-sales-study-shows>
- WHO Regional Office for Europe, OECD. (2015). *Economic cost of the health impact of air pollution in Europe: Clean air, health and wealth*. Retrieved from http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/276772/Economic-cost-health-impact-air-pollution-en.pdf
- Williams, G. (2019). *10 Top Manganese-producing Countries*. Obtenido de Investing News: <https://investingnews.com/daily/resource-investing/battery-metals-investing/manganese-investing/op-manganese-producing-countries-south-africa-china-australia/>
- Wollenberg, A. (2017). *Environmental and Energy Study Institute, EESI*. Retrieved from https://www.eesi.org/files/FactSheet_Electric_Vehicles_08.2017.pdf
- World Electric Vehicle Journal Vol. 5. (2012). OEM's Electric Vehicle Strategies: Risk Assessment. <http://www.mdpi.com/2032-6653/5/4/911/pdf>.
- ZF. (2017). *Into the Future with E-Mobility*. Retrieved from https://www.zf.com/products/media/product_media/cars_5/cars_powertrain_modules_dynastart/pdf_12/ZF_PKW_E-Mobility_2017_EN_Web.pdf
- Zhongying, W. (2019). *Thoughts on China's energy transition outlook*. Obtenido de <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s41825-019-00014-w.pdf>
- Zimmermann, N. (2018). *Move is on to ban diesel cars from cities*. Obtenido de <https://www.dw.com/en/move-is-on-to-ban-diesel-cars-from-cities/a-42747043>